

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

Ingeniero Ambiental

**TEMA**

Calidad y servicio ecosistémico del recurso suelo bajo distintos usos  
de la tierra en Rukullakta, Archidona

**AUTOR**

Richard Javier Barroso Tagua

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Dr. C. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD

**PUYO - ECUADOR**

**2019**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, **Barroso Tagua Richard Javier** portadora de la cedula de identidad N° **160062733-3**, hago constar que soy el autor del proyecto de investigación con el título **“CALIDAD Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DEL RECURSO SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA EN RUKULLAKTA, ARCHIDONA”** el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo, a los 04 días del mes de febrero del dos mil diecinueve.

Barroso Tagua Richard Javier

160062733-3

Dr. Bravo Medina Carlos Alfredo, PhD.

1757015373



## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Por medio del presente, Yo, Bravo Medina Carlos Alfredo, con número de cedula 1757015373 certifico que el egresado Barroso Tagua Richard Javier realizó el Proyecto de Investigación titulado **“CALIDAD Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DEL RECURSO SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA EN RUKULLAKTA, ARCHIDONA”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.



**Dr. Bravo Medina Carlos A, PhD.**

1757015373



## AVAL

DOCTOR:  
CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA  
**DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA ABALIZA EL  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

Título: **"CALIDAD Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DEL RECURSO SUELO  
BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA EN RUKULLAKTA, ARCHIDONA"**

Autor: **RICHARD JAVIER BARROSO TAGUA**

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del proyecto de investigación y considero que cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.

Por lo antes expuesto se avala el proyecto de investigación para que sea presentado ante la Coordinación de la carrera de Ingeniería Ambiental como forma de titulación de Ingeniero Ambiental, y que dicha instancia considere el mismo fin de que tramite lo corresponda.

Para que a sí conste, firmo la presente a los 04 días del mes de febrero del dos mil diecinueve.

Atentamente



---

**Dr. Bravo Medina Carlos A, PhD.**

1757015373





**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 153-IL-UEA-2018

Puyo, 25 de enero de 2019

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El trabajo de titulación correspondiente al estudiante BARROSO TAGUA RICHARD JAVIER C.I. 1600627333,, con el Tema: **"CALIDAD Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DEL RECURSO SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA EN RUKULLAKTA, ARCHIDONA"**, de la carrera Ingeniería Ambiental, Director de proyecto Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 7%, Informe generado con fecha 25 de enero de 2019 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco, MSc.  
**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .**

[www.uea.edu.ec](http://www.uea.edu.ec)

Campus UEA, Paso Lateral Km. 2 ½ Vía Napo  
Puyo, Pastaza - Ecuador

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL  
DE SUSTENTACIÓN**

El proyecto de investigación, titulado: “CALIDAD Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DEL RECURSO SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA EN RUKULLAKTA, ARCHIDONA”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.



Ms. Sc. Bolier Torres

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ms. Sc. María De Decker

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ms. Sc. Yamila Lazo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios autor principal de este proyecto, dador de sabiduría e inteligencia, en momentos de angustia me otorgó su paz a mi corazón y pensamientos para poder tomar las mejores decisiones, gracias a su voluntad estoy terminando una etapa más en mi vida.

Agradezco a mis padres terrenales Anita y Héctor, que han estado en todo este proceso animándome, exhortándome, consolándome para poder avanzar juntos esta travesía que iniciamos hace 5 años.

Agradezco a mi hermana Gabriela, que ha estado pendiente de todo este proceso en muchas ocasiones exhortándome pero al mismo tiempo animándome, siendo pilar fundamental en mi vida.

Agradezco a mis hermanos en Cristo y amigos por su apoyo incondicional y por sus oraciones para poder culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi tutor de proyecto, Dr. Carlos Bravo, quien hace 1 año y medio era desconocido, por el simple hecho de que no tuve el honor de ser su alumno en ningún semestre de carrera, por la voluntad de Dios se convirtió en un amigo que abrió su corazón y compartió sus conocimientos para poder ayudarme en lograr mi objetivo.

Agradezco al Proyecto (LAFORET), Paisajes Forestales en el Trópico, por permitir usar los datos del proyecto para el análisis y desarrollo del presente proyecto de investigación. LAFORET es un proyecto ejecutado mediante convenio entre la Universidad Estatal Amazónica y el Instituto Johann Von Thünen de Alemania, y ejecutado por el programa de Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Empresarial de la UEA.

*RICHARD JAVIER BARROSO TAQUA*

## **DEDICATORIA**

Este proyecto es dedicado especialmente a Dios por su infinita misericordia que me permite estar culminando este gran paso en mi carrera profesional, por ser mi Pastor que incondicionalmente está para socorrerme en todo momento, por ser fuente de vida, inteligencia, sabiduría para formarme con integridad y terminar juntos este ciclo.

A mis padres que a lo largo de mi vida siempre estuvieron y están presentes en momentos alegres y tristes dando su apoyo y corrigiéndome en mis errores, sé que están orgullosos de sus dos hijos.

A mi hermana Gabriela, por haber depositado toda su confianza en mí.

Y a todos mis amigos, profesores, compañeros de aula que hemos vivido tiempos de alegría, tristeza, desesperación pero siempre hemos mantenido la fe para poder alcanzar las distintas metas propuestas.

Gracias a todos.

*RICHARD JAVIER BARROSO TAQUA*

## RESUMEN

La calidad del suelo es un factor muy importante al momento incidir sobre la vida de los organismos, los servicios ecosistémicos que puede proporcionar este recurso no ha tenido la importancia necesaria para establecer un manejo sostenible, que favorece a la actividad agrícola, ambiental, social y económica. En este sentido el objetivo de la investigación fue caracterizar la calidad y los servicios ecosistémicos del recurso suelo mediante parámetros ambientales bajo diferentes usos de tierra en Rukullakta, Archidona, Provincia de Napo. Se realizó un muestreo sistemático, en donde se estableció un transecto de cinco puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4, P5), se recolectaron muestras de suelo a dos profundidades (0-10cm: 10-30cm) para la determinación de los parámetros asociados a la fertilidad como pH, nitrógeno total, fósforo disponible, bases cambiables, Carbono orgánico total y densidad aparente. Los resultados no mostraron diferencias significativas en las dos profundidades en los parámetros físico-químicos, reportando un suelo ácido con poca disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (P,  $K^{+1}$ ,  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ ), con un contenido de carbono orgánico moderado en la capa superficial, un suelo con buen drenaje que ayuda a la penetración de raíces debido a los valores densidad aparente. El contenido de carbono secuestrado oscilo de 25 a 50 Mg ha<sup>-1</sup>, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero de la atmósfera. A pesar de los bajos niveles de fertilidad, se demostró que el suelo presenta altos valores económicos en las dos profundidades que pueden utilizarse como pagos de servicio ambiental a los propietarios de fincas para la conservación del bosque y suelo. El índice de calidad del suelo en distintos usos de tierra fue muy similar variando de moderado a bajo para el horizonte superficial y subsuperficial respectivamente, lo cual está influenciado por las disminuciones de los valores de las propiedades del suelo en función de la profundidad.

**Palabras claves:** Calidad del suelo, Servicio ecosistémico, Amazonía, propiedades del suelo.

## **ABSTRACT**

The quality of the soil is an important factor at the moment of influencing the life of organisms, the ecosystem services that could provide this resource and which has not had the necessary importance to establish a sustainable management that can favor to the environmental, social and economic activity. In this sense the objective of the research was to characterize the quality and the ecosystem services of the soil resource through environmental parameters under different land uses in Rukullakta, Archidona, Napo province. Systematic sampling was done, where it is established a transept of five sampling points (P1, P2, P3, P4, P5) where soil samples were collected at two depths (0-10cm: 10-30cm) to determine the associated parameters to fertility as pH, total nitrogen, available phosphorus, changeable bases, total organic carbon and bulk density. The result didn't show significant differences in the two depths in the physical-chemical parameters, reporting an acid soil with little availability of essential nutrients for plants. (P, K<sup>+1</sup>, Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup>), with a moderate organic carbon content in the surface layer, a soil with good drainage that helps the penetration of roots due to the apparent density values. The sequestered carbon content wobbled from 25 to 50 Mg ha<sup>-1</sup> contributing to the reduction of greenhouse gases from the atmosphere. Despite the low levels of fertility, It is shown that the soil presents high economic values in the two depths that can be used as environmental service payments to the owners of farms for forest and soil conservation. The soil quality index in different land uses was very similar varying from moderate to low for the superficial horizon and subsurface respectively, which is influenced by the decreases in the values of soil properties as a function of depth.

**Key words:** soil quality, ecosystem service, Amazon, soil properties.

# TABLA DE CONTENIDO

|  |   |
|--|---|
| CAPÍTULO I.....  | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 1 |
| 1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 2 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....  | 3 |
| 1.3. OBJETIVOS .....   | 4 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....  | 4 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 4 |
| CAPÍTULO II.....   | 5 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....   | 5 |
| 2.1. ANTECEDENTES .....  | 5 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS .....  | 5 |
| 2.2.1. LA IMPORTANCIA DEL BOSQUE .....   | 5 |
| 2.2.2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS .....   | 5 |
| 2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....                                   | 6 |
| 2.2.4. DE SOPORTE .....  | 6 |
| 2.2.5. DE PROVISIÓN .....  | 6 |
| 2.2.6. DE REGULACIÓN.....  | 6 |
| 2.2.7. CULTURALES .....  | 6 |
| 2.2.8. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....                            | 6 |
| 2.2.9. PARÁMETROS DE SUELOS RELACIONADOS CON SU CALIDAD Y<br>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ..... | 7 |
| 2.2.10. CALIDAD DE SUELOS Y LOS INDICADORES QUE SE USAN PARA SU<br>CARACTERIZACIÓN .....   | 8 |
| PARÁMETROS QUÍMICOS.....   | 8 |
| 2.2.11. pH .....   | 8 |
| 2.2.12. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (MOS).....  | 8 |
| 2.2.13. COMPLEJO DE INTERCAMBIO IÓNICO .....   | 8 |
| 2.2.14. NITRÓGENO.....   | 9 |
| 2.2.15 .FÓSFORO .....  | 9 |

|   |    |
|---|----|
| PARÁMETRO FÍSICO .....  | 9  |
| 2.2.16. DENSIDAD APARENTE.....  | 9  |
| PARÁMETROS BIOLÓGICOS .....   | 9  |
| 2.2.17. RESPIRACIÓN BASAL.....  | 9  |
| 2.2.18. BIOMASA MICROBIANA .....  | 9  |
| 2.2.19. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO SUELO .....                          | 9  |
| CAPÍTULO III .....  | 11 |
| 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....                                       | 11 |
| 3.1. LOCALIZACIÓN .....   | 11 |
| 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....  | 12 |
| 3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....   | 12 |
| 3.3.1. MUESTREO DE SUELO Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES<br>QUÍMICAS .....     | 12 |
| 3.3.2. ANÁLISIS FÍSICOS .....   | 13 |
| 3.3.3. ANÁLISIS QUÍMICOS .....  | 13 |
| 3.3.4. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO.....                         | 14 |
| 3.3.5. DETERMINACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE APORTAN AL<br>SUELO ..... | 15 |
| CAPÍTULO IV .....   | 16 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 16 |
| 4.1. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL<br>SUELO .....    | 16 |
| 4.1.1. DENSIDAD APARENTE (Da).....  | 16 |
| 4.1.2. pH .....   | 17 |
| 4.1.3. NITRÓGENO TOTAL (NT).....  | 19 |
| 4.1.4. CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT).....                                      | 20 |
| 4.1.5. RELACIÓN CARBONO/ NITRÓGENO (C:N).....                                 | 20 |
| 4.1.6. FÓSFORO (P) .....  | 21 |
| 4.1.7. BASES CAMBIABLES - POTASIO (K <sup>+1</sup> ) .....                    | 22 |
| 4.1.8. CALCIO (CA <sup>+2</sup> ) .....                                       | 23 |
| 4.1.9. MAGNESIO (MG <sup>+2</sup> ) .....                                     | 24 |
| 4.2. ANÁLISIS DE CORRELACIONES DE LAS VARIABLES FÍSICAS-<br>QUÍMICAS .....    | 25 |
| PRIMERA PROFUNDIDAD (0-10 cm) .....   | 25 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.1. DENSIDAD APARENTE (DA) Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT) .   | 25 |
| 4.2.2. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL   | 26 |
| 4.2.3. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y NITRÓGENO TOTAL.....   | 26 |
| 4.2.4. DENSIDAD APARENTE Y FÓSFORO .....   | 26 |
| 4.2.5. CALCIO, MAGNESIO Y POTENCIAL DE HIDRÓGENO .....   | 26 |
| 4.2.6. CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO .....  | 26 |
| 4.2.7. CALCIO, MAGNESIO Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL .....   | 26 |
| SEGUNDA PROFUNDIDAD (10-30 cm).....  | 27 |
| 4.2.8. NITRÓGENO TOTAL Y DENSIDAD APARENTE .....   | 27 |
| 4.2.9. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y DENSIDAD APARENTE.....   | 27 |
| 4.2.10. NITRÓGENO TOTAL Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL .....   | 27 |
| 4.2.11. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y NITRÓGENO TOTAL.....  | 27 |
| 4.2.12. MAGNESIO Y CALCIO .....  | 27 |
| 4.3. POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO Y VALORACIÓN ECONÓMICA<br>DEL CO <sub>2</sub> COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN DIFERENTES USOS DE<br>TIERRA ..... | 30 |
| 4.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CO <sub>2</sub> equi.....  | 31 |
| 4.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO COMO<br>SERVICIO ECOSISTÉMICO EN DIFERENTES USOS DE TIERRA .....                              | 32 |
| 4.6. ÍNDICE DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO .....  | 33 |
| CAPÍTULO V .....   | 35 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 35 |
| 5.1. CONCLUSIONES.....   | 35 |
| 5.2. RECOMENDACIONES .....   | 36 |
| CAPÍTULO VI.....   | 37 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 37 |
| CAPÍTULO VII.....  | 44 |
| 7. ANEXOS.....   | 44 |

## **TABLA DE CONTENIDO: FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Valoración económica total .....   | 7  |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del área de estudios y localización de los puntos. ....       | 11 |
| <b>Figura 3.</b> Esquema para la toma de muestras de suelo bajo los distintos usos de tierra.....   | 13 |
| <b>Figura 4.</b> Densidad aparente bajo diferentes usos de tierra (0-10cm) .....                    | 16 |
| <b>Figura 5.</b> Valores promedios de densidad aparente bajo diferentes usos de tierra (10-30cm)... | 17 |
| <b>Figura 6.</b> Distribución del % pH bajo diferentes usos de tierra .....                         | 18 |
| <b>Figura 7.</b> Distribución de Nt bajo diferentes usos de tierra.....                             | 19 |
| <b>Figura 8.</b> Distribución de Carbono Orgánico Total bajo diferentes usos de tierra.....         | 20 |
| <b>Figura 9.</b> Distribución de relación C/N bajo diferentes usos de tierra .....                  | 21 |
| <b>Figura 10.</b> Distribución de Fósforo bajo diferentes usos de tierra. ....                      | 22 |
| <b>Figura 11.</b> Distribución de Potasio bajo diferentes usos de tierra.....                       | 23 |
| <b>Figura 12.</b> Distribución de Calcio bajo diferentes usos de tierra. ....                       | 24 |
| <b>Figura 13.</b> Distribución de Magnesio bajo diferentes usos de tierra .....                     | 25 |
| <b>Figura 14.</b> Recolección de muestras físicas del suelo. ....                                   | 44 |
| <b>Figura 15.</b> Recolección de muestras químicas del suelo.....                                   | 44 |
| <b>Figura 16.</b> Determinación de pH.....  | 45 |
| <b>Figura 17.</b> Determinación de Fósforo. ....  | 45 |
| <b>Figura 18.</b> Digestión de Nitrógeno.....   | 45 |
| <b>Figura 19.</b> Destilación de Nitrógeno. ....  | 45 |
| <b>Figura 20.</b> Preparación de Reactivos.....   | 45 |
| <b>Figura 21.</b> Determinación de Materia Orgánica.....  | 45 |

## **TABLA DE CONTENIDO: TABLAS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos .                 | 14 |
| <b>Tabla 2.</b> Clases de Calidad de Suelo .....  | 15 |
| <b>Tabla 3.</b> Análisis de correlación de las variables físicas-químicas en la profundidad 0-10 cm .             | 28 |
| <b>Tabla 4.</b> Análisis de correlación de las variables físicas-químicas en la profundidad de 10-30 cm.<br>..... | 29 |
| <b>Tabla 5.</b> Determinación de Carbono Orgánico Total bajo diferentes usos de tierra.....                       | 30 |
| <b>Tabla 6.</b> Valor económico por captura de CO <sub>2</sub> bajo diferentes usos de tierra.....                | 32 |
| <b>Tabla 7.</b> Valoración económica de la fertilidad del suelo bajo diferentes usos de tierra .....              | 33 |
| <b>Tabla 8.</b> Índice de calidad del suelo bajo diferentes usos de la tierra.....                                | 34 |

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático causa varios impactos en la agricultura. No obstante, las estrategias de adaptación y la sostenibilidad ambiental pueden afectar la capacidad de hacer frente a estos impactos (Gori-Maia, Brito-Miyamoto & Ruiz-Garcia, 2018).

Los Servicios ecosistémicos permiten identificar las maneras directas e indirectas en que depende del medio ambiente. A través de la valoración se podrá obtener un análisis más completo que permite definir los costos y beneficios y así tomar decisiones asociadas a la gestión del territorio, resaltando las mejores estrategias locales para el mejoramiento de la sostenibilidad económica y el bienestar humano. En relación al suelo, es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, esenciales para la vida, como lo es el aire y el agua, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas agrícolas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico (Durán, 2009).

Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos períodos, a través de la fotosíntesis. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono que se está perdiendo considerablemente por la tala indiscriminada y por los cambios de usos de tierra (Ordoñez y Masera, 2016).

El mercado de carbono también presenta oportunidades económicas y de conservación. Los Indígenas de la Reserva Talamanca (Costa Rica) rehabilitaron las plantaciones de cacao con fondos del mercado por carbono y biodiversidad, con lo cual se incrementó la producción de cacao (Pacha, 2014).

La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) representa una de las zonas con mayor biodiversidad con gran riqueza de recursos naturales que necesitan ser conservados y manejados con criterios de sustentabilidad (Bravo *et al.*, 2017). Los estudios sobre servicios ecosistémicos en la región Amazónica son muy escasos en relación a la valorización económica. La estimación de los impactos de los cambios en el uso del suelo / cobertura del suelo en los Valores del Servicio del Ecosistema (VSE) es indispensable para proporcionar conciencia pública sobre el estado de (VSE) y para ayudar en los procesos de

formulación de políticas (Gashaw *et al.*, 2018). La valoración de los Servicios ecosistémicos (SE) del suelo depende de las características naturales y el tipo de gestión, las prácticas no sostenibles inducen la degradación y devaluación del suelo y una gran cantidad de daños, mientras que las prácticas sostenibles pueden mantener y mejorar los SE del suelo. En general, la calidad y la cantidad de SE del suelo a largo plazo dependerán de la forma sostenible en que se gestione la tierra (Pereira, Bogunovic, Muñoz-Rojas & Brevik, 2018)

Bajo este concepto la evaluación económica puede posicionarse como una herramienta útil para devolver la importancia de conservación de los ecosistemas y mejorar las decisiones de las personas al momento de utilizar los bienes de la naturaleza. El creciente interés por los servicios ecosistémicos se convierte en el centro de la iniciativa mundial conocida como la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA 2005).

## **1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

La deforestación determina efectos drásticos en ecosistemas naturales, afectando tanto a la biodiversidad asociada como a los servicios que dichos ecosistemas proporcionan a la sociedad en general. Se estima que los cambios en el uso de la tierra (principalmente, por la pérdida y la degradación de los bosques tropicales) contribuyen al 61,7% de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Imai *et al.*, 2009). En Ecuador en especial en la RAE los bosques se encuentra bajo una fuerte presión ejercida por operadores informales e ilegales que se resisten a cambiar sus prácticas en pro de la Ordenación Forestal Sostenible (OFS), y existe una actividad de deforestación ilegal generalizada en las tres regiones forestales del país [International Tropical Timber Organization (ITTO, 2005)] que afectan los recursos naturales en especial al suelo, la vegetación, el agua y la biodiversidad entre otros. Según el Pueblo Kichwa de Rukullakta (PKR, 2018) gran parte de su territorio se encuentra cubierto por Bosque nativo (60,66%), Bosque Secundario (20,80%), los pastizales constituyen uno de los usos más extensivos con más de 6,8% localizándose principalmente en el límite oeste, zona central, así como pequeños parches en el noreste y sur y una parte importante en el sector suroeste está cubierto con chakras tradicionales (10,16%) en mosaico con cultivos, pastos y restos de bosque. Todas estas unidades ambientales se encuentra dentro del Bosque protector Cerro Sumaco, que necesitan ser conservadas impidiendo que avance la frontera agrícola destruyendo al ecosistema y en especial al recurso suelo.

Los servicios ecosistémicos del suelo (SES) proporcionan múltiples beneficios a los seres humanos, pero hasta la fecha no se ha formado un consenso sobre un marco integral para su clasificación y valoración económica, por lo que no se ha desarrollado un enfoque sistemático para evaluar su importancia (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016; Adhikari & Hartemink, 2016) y en RAE este tipo de estudio es muy limitado. Solo unos pocos estudios han relacionado las propiedades del suelo con los servicios del ecosistema (Barroso *et al.*, 2017). La presente investigación ayudará a fortalecer la información base relacionada con esta temática en la zona Rukullakta, Archidona y permitirá entender cómo es impactado el potencial de secuestro o captura de carbono cuando son afectados los recursos vegetación y suelo por un cambio de uso de la tierra.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El aumento de la deforestación de bosques y el cambio de uso de la tierra han provocado que la frontera agrícola avance en gran proporción sin control técnico con efectos drásticos sobre los ecosistemas de la RAE, afectando la calidad del recurso suelo y ciclos biogeoquímicos que proporcionan múltiples servicios ecosistémicos.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar la calidad y los servicios ecosistémicos del recurso suelo mediante parámetros ambientales bajo diferentes usos de tierra Rukullakta, Archidona, Provincia de Napo.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros físicos y químicos asociados a la calidad del suelo bajo distintos usos de la tierra.
- Determinar el potencial de secuestro de carbono y la fertilidad del suelo mediante la determinación de parámetros de suelo y la biomasa bajo los usos de la tierra considerados.
- Determinar el valor económico de los principales servicios ecosistémicos que provee los diferentes usos de la tierra como Bosque primario, Bosque bajo Aprovechamiento de madera, Bosque secundario / sucesión y Chakra.
- Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) mediante parámetros físicos y químicos para cada uso de la tierra, que sirva de apoyo para su manejo y conservación bajo una perspectiva agroecológica.

## **CAPÍTULO II**

### **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

El Pueblo Kichwa de Rukullakta (PKR), es una organización de carácter social y comunitario, cuenta con una extensión territorial global de 41.888,55 hectáreas, conformada por 17 comunidades, las cuales fueron establecidas en la escritura de adjudicación del IERAC, actual Secretaría de Tierras, en el año de 1977 (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Archidona [GAD ARCHIDONA, 2014]). Algunas de estas comunidades no tienen un centro poblado consolidado, pero existen las chakras, purinas y zonas de aprovechamiento forestal de personas que han conformado en cada comunidad. En general la gran parte no tienen vías de acceso lo que ha favorecido a que el uso del suelo y la cobertura forestal se mantengan sin mucha variación. En la parroquia de Rukullakta existen 396 personas, conformadas por 72 viviendas, 85 familias, de las cuales 224 son varones y 172 mujeres (GAD ARCHIDONA, 2014). Según Erazo (2008) en el libro Constituyendo la Autonomía afirma que varias recapitulaciones de las historias de los abuelos de la comunidad indican la posesión histórica de la tierra, por ejemplo, Carlos Alvarado en 1994 relata: “Rukullakta es una de las comunidades más antiguas de la zona; quizás existió antes de la conquista de los Incas, y de los españoles... Los legítimos dueños de la Amazonía hemos sido los runas (hombres), a quienes poco a poco nos han ido desplazando de nuestra Mama Llacta (Madre Tierra), a través de la matanza que en tiempos del inca Atahualpa y durante la conquista española”.

#### **2.2. BASES TEÓRICAS**

##### **2.2.1. LA IMPORTANCIA DEL BOSQUE**

Los bosques tropicales albergan el 70% de las especies de animales y plantas del mundo, influyen en el clima local y regional, regulan el caudal de los ríos y proveen una amplia gama de productos maderables y no maderables. La pérdida de estos bosques se debe principalmente, en países en vías de desarrollo, al círculo vicioso del crecimiento poblacional y la pobreza persistente (Aide y Grau, 2004).

##### **2.2.2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas (Balvanera, 2012). Se configuran a partir de beneficios potenciales asociados a las funciones de los ecosistemas, que se concretan en servicios reales una vez son

demandados, usados o disfrutados; es decir, en cuanto la sociedad les asigna valores instrumentales (Corredor, Fonseca y Páez, 2009).

### **2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), define a los SE como “los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas”, presentando una clasificación más difundida y aceptada, ya que desarrolla una estructura simple de fácil comprensión, en la cual se destaca en 4 ejes primordiales:

#### **2.2.4. DE SOPORTE**

Son los procesos ecosistémicos y estructuras, que son necesarias para que sea posible la generación de los otros servicios ecosistémicos (regulación, aprovisionamiento y culturales). La diferencia con los otros SSEE está en que los efectos a las personas son indirectos o su ocurrencia es en espacios de tiempo muy amplios de aprovisionamiento.

#### **2.2.5. DE PROVISIÓN**

Son los productos obtenidos de los ecosistemas como alimentos, agua limpia, combustibles, madera, fibra, recursos genéticos, medicinas naturales y otros.

#### **2.2.6. DE REGULACIÓN**

Son los beneficios que se derivan de la regulación de los procesos ecosistémicos. Aquí se incluyen la calidad del aire, regulación climática e hídrica (inundaciones), control de erosión, mitigación de riesgos, regulación de la frecuencia y magnitud de enfermedades, control biológico, tratamiento de desechos (por la filtración y descomposición de desechos orgánicos) y polinización.

#### **2.2.7. CULTURALES**

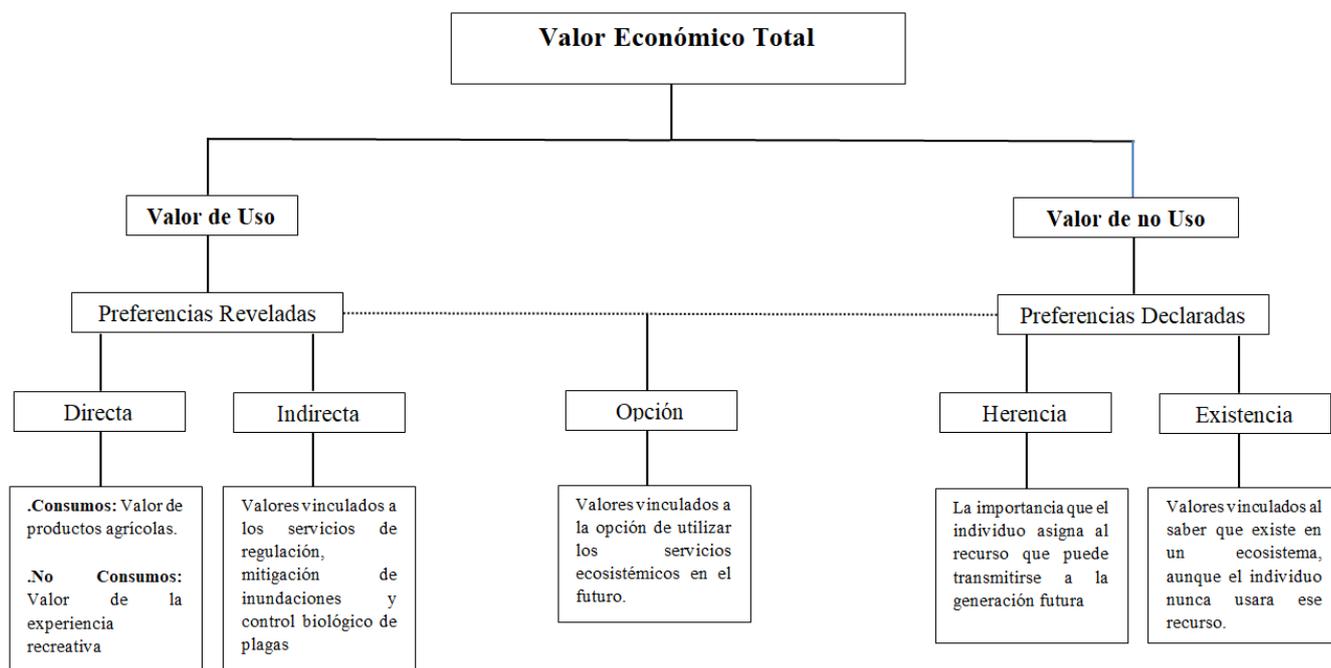
Son beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas por medio del enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación. Estos están fuertemente ligados con los valores humanos y el comportamiento, por lo que las percepciones de estos servicios difieren entre individuos y comunidades.

#### **2.2.8. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

En los enfoques basados en preferencias, que son comunes en economía, la valoración siempre se basa en valores antropocéntricos, es decir, el valor de humanos. Dichos valores

se dividen en dos categorías: uso y valores de no uso, presentados en la Figura 1 (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016).

**Figura 1.** Valoración económica total



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.9. PARÁMETROS DE SUELOS RELACIONADOS CON SU CALIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Gracias al suelo y a la radiación solar, las plantas, por medio de la fotosíntesis, producen alimentos, forrajes, fibras, masas forestales y energías renovables, permiten el enraizamiento de las plantas (anclaje), con lo que éstas pueden obtener agua, oxígeno y nutrientes (Casanova, 2005). Los suelos son la base de todos los ecosistemas terrestres (Porta, López y Poch, 2008) y tanto su calidad como los servicios ecosistémicos están relacionados con las funciones que cumplen, tal como ha sido señalada por diferentes autores (Bravo *et al.*, 2017; McBratney *et al.*, 2013): **a)** Medio para el desarrollo de las plantas o producción de biomasa, **b)** componente del ciclo hidrológico y regulador de los suministros de agua, **c)** hábitat y proveedor de energía y reciclaje de nutrientes para organismos, **d)** agente almacenador, degradador, desintoxicador de sustancias, **e)** medio que provee soporte a las plantas. Desde el enfoque sistémico constituye uno de los subcomponentes centrales del agroecosistema y se ha señalado a la fertilidad del suelo como uno de los atributos conectado con la sustentabilidad, la cual debe permitir el mantenimiento de su productividad mediante un adecuado manejo, mejorando la estructura, el contenido de materia orgánica y la aireación, adecuado contenido de

humedad, el pH apropiado y un óptimo nivel de nutrientes (Bravo *et al.*, 2017; Astier-Calderón *et al.*, 2002).

#### **2.2.10. CALIDAD DE SUELOS Y LOS INDICADORES QUE SE USAN PARA SU CARACTERIZACIÓN**

Las características químicas del suelo deben de ser estudiadas, analizadas por el agricultor y técnico de apoyo. La siembra, la cosecha y la calidad del producto van relacionadas directamente con los nutrientes presentes en el suelo y en proporción tendrían una idea más clara sobre la conservación del suelo (Barroso *et al.*, 2017).

### **PARÁMETROS QUÍMICOS**

#### **2.2.11. pH**

La acidez activa o real, se mide por medio del valor del pH de un sistema suelo-agua, en la proporción determinada de componentes. El valor expresa la intensidad de la acidez, es decir, la actividad de los protones en la solución del suelo, en la que influyen diversos factores. Las medidas se realizan potenciométricamente, utilizando un pH-metro con un electrodo de vidrio y uno de calomelanos (Porta, López y Poch, 2008).

#### **2.2.12. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (MOS)**

Confiere una coloración oscura al horizonte que la contiene, la importancia de este componente reside en el papel que este componente desempeña en el comportamiento del suelo donde habita la biomasa total de organismos vivos referida a una superficie o a un volumen de suelo. Esto es debido a que la MOS condiciona la estructuración y por consiguiente la aireación, el almacenamiento y movimiento del agua, contribuye a la capacidad de intercambio catiónico del suelo. La determinación de la materia orgánica se puede realizar por vía seca y por vía húmeda (Porta, López y Poch, 2008).

#### **2.2.13. COMPLEJO DE INTERCAMBIO IÓNICO**

Las formas intercambiables de los elementos en el suelo constituyen la fuente más importante de nutrientes inmediatamente disponibles, al pasar de la doble capa (sedes de intercambio) a la solución exterior, a medida que su concentración disminuye. Además, intervienen en el comportamiento físico de los suelos. Los cationes de cambio o intercambiables se agrupan en cationes básicos:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , principalmente y los cationes acidificantes:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ , principalmente (Porta, López y Poch, 2008).

#### **2.2.14. NITRÓGENO**

El nitrógeno presente en la capa superficial de los suelos naturales se halla en un 90% en forma orgánica, el resto se presenta como  $\text{NH}_4^+$  y en pequeñas cantidades de nitrato, (ya que el nitrato se elimina con el lavado de los suelos o bien al ser tomado por la planta (Juárez, Sánchez y Sánchez, 2006).

#### **2.2.15. FÓSFORO**

La cantidad de fósforo que está en forma orgánica, presenta considerables variaciones, y en general, constituye entre un 3 y 85% del fósforo total del suelo, si bien los mayores porcentajes se dan en suelos turboso y suelos forestales no cultivados, pero sobre todo en suelos tropicales (Juárez, Sánchez y Sánchez, 2006).

### **PARÁMETRO FÍSICO**

#### **2.2.16. DENSIDAD APARENTE**

La densidad aparente se manifiesta como el peso seco del suelo por elemento de volumen de suelo inalterado, se encuentra en su posición natural, determinando el espacio poroso lo que permite calcular la resistencia del suelo al desarrollo de las raíces (Rubio, 2010).

### **PARÁMETROS BIOLÓGICOS**

#### **2.2.17. RESPIRACIÓN BASAL**

Es la oxidación de la materia orgánica hasta  $\text{CO}_2$  por acción de los microorganismos del suelo. El desprendimiento del  $\text{CO}_2$  producto de la mineralización de la materia orgánica se correlaciona con la actividad biológica del suelo y por ende con la biomasa microbiana (Palma, 2011).

#### **2.2.18. BIOMASA MICROBIANA**

Es la parte viva de la materia orgánica del suelo, está compuesta por los microorganismos de aproximadamente  $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$ , constituye de 1 a 5% de la materia orgánica del suelo. Juega un doble papel en el suelo, primero como agente para la descomposición de residuos de plantas con liberación simultánea de nutrientes y segundo como sustancia lábil de nutrientes (Palma, 2011).

#### **2.2.19. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO SUELO**

Los suelos proporcionan un amplio conjunto de servicios vitales para los ecosistemas, pero los suelos están amenazados en todo el mundo. Para evitar una mayor degradación de los

suelos y, en consecuencia, la provisión de servicios ecosistémicos basados en el suelo, la ciencia del suelo ha estado pidiendo una consideración integral de la calidad del suelo en la toma de decisiones, ya que los suelos se marginan como mera superficie (Drobnik, Greiner, Keller y Gret-Regamey, 2018).

Al respecto Barroso *et al.* (2017), indica que la valoración económica bajo sistema agroforestal con una superficie de 4 hectáreas, muestra un aporte monetario de 16525 \$ ha<sup>-1</sup> anual, donde los mayores aporte vienen dado por el contenido de materia orgánica, seguido por la disponibilidad de nitrógeno (N), potasio (K<sup>+</sup>) y fósforo (P), que pueden ser aprovechado por las instituciones y agricultores dueños de las fincas aledañas para acceder a un pago de servicio ambiental por la conservación del suelo y ayudar a desarrollar un agroecosistema sostenible.

En base a los distintos cambios que viene sufriendo el planeta a través de la deforestación Guallo (2018), indica desde una perspectiva general la contribución económica del suelo bajo distintos usos de tierra es de \$ 6960,16 anualmente, en la cual se mitigan 464,01 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente /ha<sup>-1</sup>, deduciendo la regulación y mantenimiento del bosque secundario y los sistemas de cultivo, controlando con planes de reforestación que se compensaría con el pago del servicio ambiental del secuestro de carbono.

Un estudio realizado por Gaibor (2018) señala que la valoración económica de la fertilidad del suelo como servicio ecosistémico indistintamente del uso de tierra, destaca el bosque con un valor de \$18,662,13 ha<sup>-1</sup> y \$21,631,06 ha<sup>-1</sup>, siendo el carbono orgánico total (COT) Mg ha<sup>-1</sup>, nitrógeno total (NT) Mg ha<sup>-1</sup>, cantidad de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) Mg ha<sup>-1</sup>, y la cantidad de potasio (K<sub>2</sub>O) Mg ha<sup>-1</sup> los parámetros evaluados económicamente en dos comunidades de Pastaza, en la cual los agricultores de la RAE puede acceder a programas como el Socio Bosque por la conservación y protección de bosques a través de incentivos económicos.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. LOCALIZACIÓN

Para este estudio se seleccionó un suelo manejado con distintos usos de tierra como Bosque Primario de Conservación (BPC), Bosque Bajo Aprovechamiento de Madera (BAM), Bosque Secundario (BS) y Chakra, localizado en la comunidad de Rukullakta, cantón Archidona, provincia de Napo en la Amazonía centro norte del Ecuador, al oeste de la cordillera de los Andes, en la vertiente sur del volcán Sumaco, el occidente de la cordillera de Galeras, y al oriente de la troncal Amazónica entre Archidona y la intersección de la vía Hollín – Loreto (Figura 2). El área bajo estudio ha sido clasificada como Bosque húmedo tropical, con una precipitación entre 2500 mm y 5500 mm distribuidos uniformemente durante todo el año. La humedad relativa se encuentra entre 85% y 95% y la temperatura varía entre 20° C y 42° C (Solís, 2008).

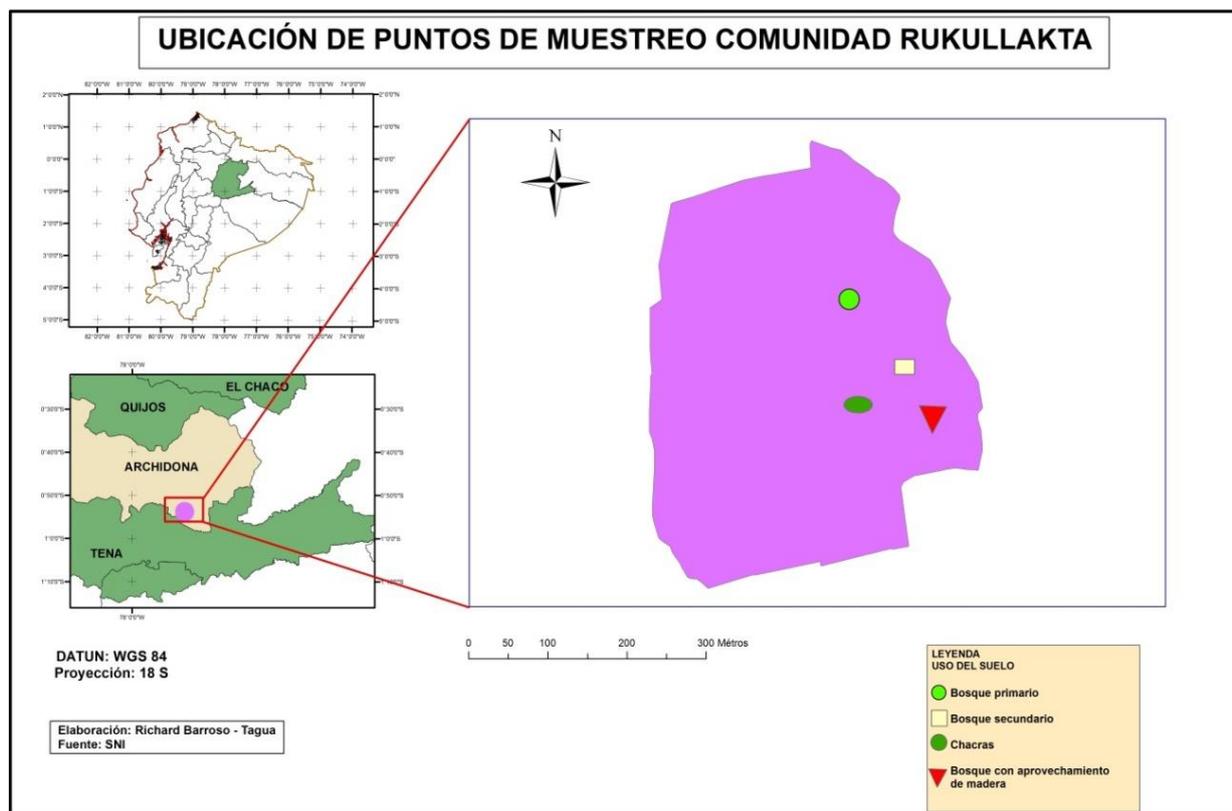


Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio y localización de los puntos

## 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

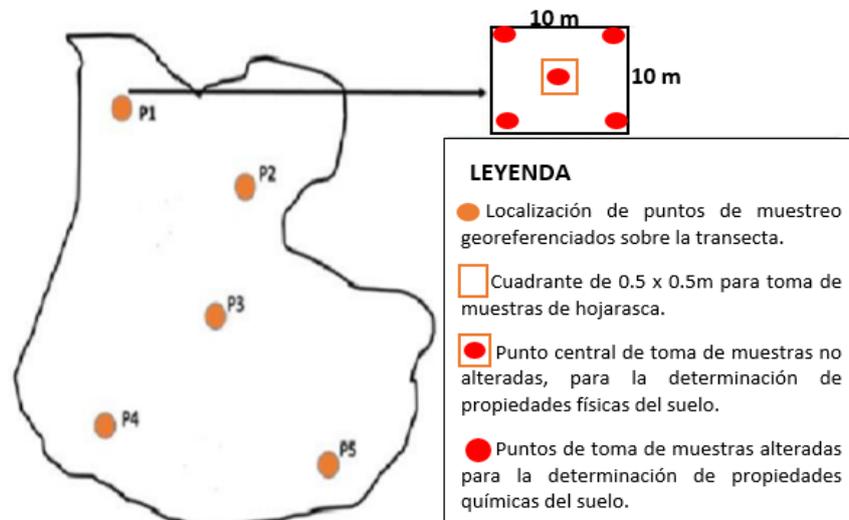
El proyecto se enmarcó en el programa de investigación “Gestión y conservación Ambiental” de la Universidad Estatal Amazónica, con tres tipos de investigación entre ellas: **Exploratoria** porque destaca los aspectos fundamentales de un problema, **documental** porque se apoya en fuentes de carácter documental para profundizar en el marco teórico referencial sobre la calidad de servicios ecosistémicos del suelo y **de campo** debido a que se apoya en observaciones y mediciones en el área de estudio.

## 3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Una vez seleccionado el lugar representativo se procedió a realizar experimentalmente un muestreo sistémico y representativo de cada uso seleccionado mediante una toma de muestras no alteradas para las propiedades físicas y alteradas para las propiedades químicas y biológicas. Posteriormente en el laboratorio se procedió a su secado, tamizado y posterior medición. Finalmente se procedió a determinar la calidad y los servicios ecosistémicos en los distintos usos de tierra seleccionados.

### 3.3.1. MUESTREO DE SUELO Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS

Para la recolección de la información de campo se usó un esquema de muestreo sistemático que cubrió toda la variabilidad de los usos del suelo (Bravo *et al.*, 2017). En cada uso se estableció un transecto con cinco subparcelas o puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5) de manera equidistante en función del tamaño de la zona delimitada (Figura 3). En cada subparcela de 10 x 10 m con un área de 100 m<sup>2</sup> por punto de muestreo, se recolectaron cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm), muestras que conformarán la muestra compuesta por punto para la evaluación de parámetros químicos. Además, en la parte central de cada subparcela se tomaron las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) para la evaluación de parámetros físicos. En la parte central de la parcela se colocó un cuadrante (0,25 m<sup>2</sup>), donde se tomó la muestra de biomasa (hojarasca).



**Figura 3.** Esquema para la toma de muestras de suelo bajo los distintos usos de tierra (Tomado de Bravo *et al.*, 2017).

### 3.3.2. ANÁLISIS FÍSICOS

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usó muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se midió las siguientes variables: **a)** densidad aparente ( $D_a$ ) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986); **b)** conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descritos en Pla (2010), **c)** distribución de tamaño de poros ( $P_t$ : porosidad total), **d)** porosidad de aireación ( $P_a$ : poros de radio  $>15 \mu m$ ), **e)** porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa (Pla, 2010).

### 3.3.3. ANÁLISIS QUÍMICOS

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson & Sommer, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$  1N) con adición de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el cromo (Cr) fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0.5 N ( $H_2SO_4 + FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ). El nitrógeno total se medirá por el método de kjeldahl. El pH fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables ( $K^{+1}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ), contenido de fósforo y microelementos fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsch, 1995), las unidades de medidas para estos elementos se encuentra en la Tabla 1. Para la determinación del secuestro de carbono en el suelo, como primer paso se determinó la densidad aparente ( $D_a$ ) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). Con el valor

de la densidad aparente, el valor del carbono y la profundidad de cada horizonte pedogenético se cuantificó la cantidad total de carbono almacenado en el compartimiento suelo (COS).

### 3.3.4. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO

Para obtener el índice de calidad de suelo (ICS), primero se realizó un análisis de componentes principales (ACP), utilizando un conjunto de variables que incluyeron parámetros físicos y químicos del suelo, usando el paquete estadístico SPSS, versión 21. Esto permitió reducir el número de variables y establecer las diferencias entre los distintos ecosistemas, así como la selección mediante los dos primeros componentes aquellas variables de mayor contribución para explicar las diferencias de calidad de suelo de usos seleccionados. Como una segunda fase para la selección de indicadores de calidad del suelo (Viana *et al.*, 2014) se aplicó la prueba de correlación Speerman ( $P \leq 0.05$ ). Una vez seleccionados los indicadores se procedió a asignar las unidades de medida, el valor mínimo y máximo usando la metodología propuesta por (Bravo *et al.*, 2017; Cantú *et al.*, 2007). Finalmente, con los valores promedios del Índice de calidad del suelo se categorizaron en distintas clases en una escala de 0-1 (Tabla 2).

**Tabla 1.** Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos

| Indicador                                   | Unidad de medida   | I min | I max |
|---|--------------------|-------|-------|
| Densidad aparente (Da)                      | Mg m <sup>-3</sup> | 0.27  | 1.20  |
| Carbono orgánico total (COT)                | %                  | 1.50  | 10.00 |
| Nitrógeno Total (NT)                        | %                  | x     | x     |
| pH  |                    |       |       |
| Acidez intercambiable                       | meq/100 ml         | 4.00  | 6.50  |
| Aluminio intercambiable (Al <sup>+3</sup> ) | meq/100 ml         | 0.50  | 3.00  |
| Calcio intercambiable (Ca <sup>+2</sup> )   | meq/100 g de suelo | 0.20  | 7.00  |
| Fósforo intercambiable P                    | meq/100 g de suelo | x     | x     |
| Potasio intercambiable (K <sup>+1</sup> )   | meq/100 g de suelo | 0.01  | 0.45  |
| Magnesio intercambiable (Mg <sup>+2</sup> ) | meq/100 g de suelo | 0.12  | 6.00  |

Fuente: Bravo, 2014

**Tabla 2.** Clases de Calidad de Suelo

| <b>ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS</b> | <b>ESCALA</b> | <b>CLASES</b> |
|------------------------------------|---------------|---------------|
| Muy alta calidad                   | 0,80 -1,00    | 1             |
| Alta calidad                       | 0,60 - 0,79   | 2             |
| Moderada calidad                   | 0,40 – 0,59   | 3             |
| Baja calidad                       | 0,20 – 0,39   | 4             |
| Muy baja calidad                   | 0,00 – 0,19   | 5             |

Fuente: Cantú *et al.*, 2007

### **3.3.5. DETERMINACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE APORTAN AL SUELO**

Para la determinación de la fertilidad del suelo como servicio ecosistémico se consideró las dos profundidades 0-10cm y 10-30cm, para lo cual se procedió siguiendo los pasos: 1) Cálculo del peso de la hectárea mediante la siguiente fórmula:  $D_a$  ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) x profundidad (m) x 10000  $\text{m}^2$ ; 2) Cálculo de la cantidad de cada nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) del nitrógeno, fósforo y potasio, calcio, magnesio y COT, 3) Transformación de la cantidad de P y K en su forma comercial ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y ( $\text{K}_2\text{O}$ ) respectivamente; 4) valoración económica de los nutrientes y materia orgánica usando como referencia el precio de fertilizantes simples Muriato de Potasio (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ), Urea (46% N), Roca Fosfórica (42%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), Cal Dolomita (38% CaO) y Sulfato de Magnesio (25% MgO) (Barroso et al., 2017).

## CAPÍTULO IV

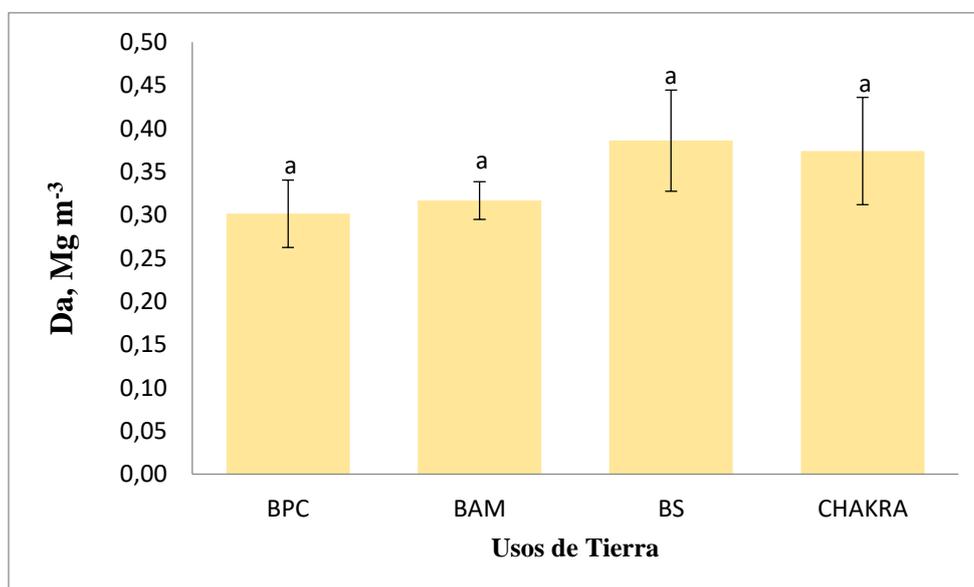
### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL SUELO

Los parámetros físico-químicos analizados en diferentes usos de tierra Bosque Primario de Conservación (BPC), Bosque Bajo Aprovechamiento de Madera (BAM), Bosque Secundario (BS) y Chakra en la comunidad de Rukullakta, cantón Archidona se discutieron en función de la profundidad y el uso.

##### 4.1.1. DENSIDAD APARENTE (DA)

Los resultados de esta variable no mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en función de los distintos usos de tierra, para la primera profundidad (0-10cm). Los suelos manejados con BPC y BAM mostraron valores que oscilan entre 0,30 y 0,32  $\text{Mg m}^{-3}$ , en comparación con las unidades de Chakra y BS que registraron valores de 0,37 y 0,39  $\text{Mg m}^{-3}$  respectivamente (Figura 4). Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces (Donoso, 1992).



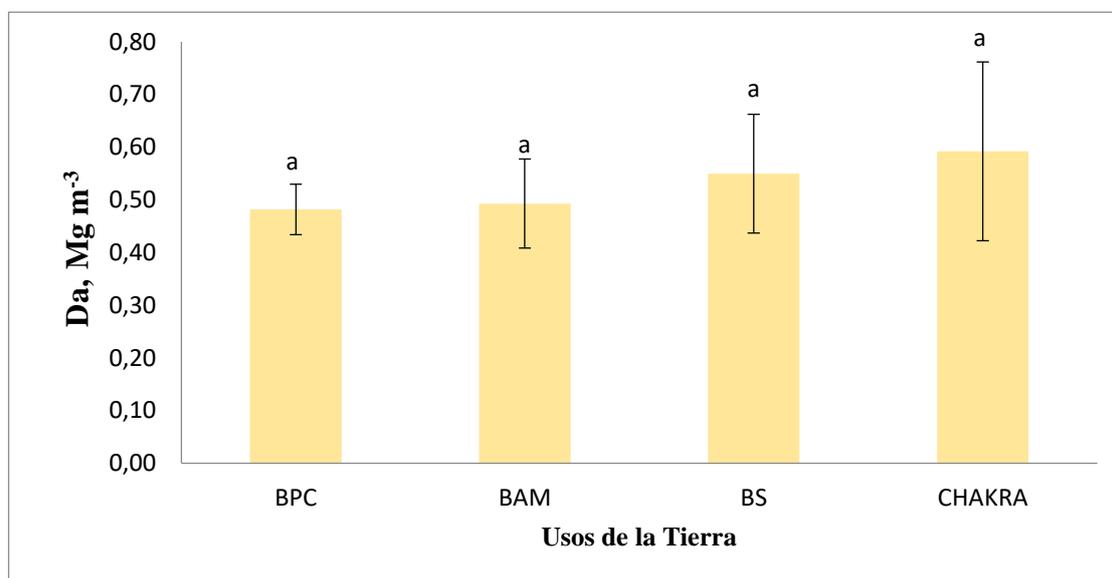
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0,05$

**Figura 4.** Densidad aparente bajo diferentes usos de tierra (0-10cm)

En la siguiente profundidad (10-30 cm) si bien mostraron la misma tendencia, no se registró diferencias significativas entre los usos evaluados. Los valores en los cuatro usos de suelo aumentan en pequeña cantidad con relación a la primera profundidad a excepción

de la Chakra que alcanza  $0.59 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 5) reflejando que, a medida que aumenta la MOS y el espacio poroso, disminuye la  $D_a$  y viceversa (Salamanca y Sadeghian, 2006). Algunos estudios realizados en la región Amazónica sobre el efecto del cambio de uso sobre parámetros físicos-químicos del recurso suelo no presentan grandes variaciones en las dos profundidades reportando valores bajos que oscilaron entre ( $0,30 - 0,54 \text{ Mg m}^{-3}$ ) en tres tipos de bosque (Moreno, 2018). Se ha señalado que la densidad aparente es un valor de gran significado agrícola y está relacionado con la porosidad total y su distribución cuyo valores deben interpretarse en función de la textura del suelo (Pla, 2010). En este sentido para las clases texturales finas como la Arcillosa o Arcillo limosa se ha señalado que valores  $D_a > 1,3 \text{ Mg m}^{-3}$  pueden impedir la elongación de la raíz o reducir la aireación del suelo (Duval et al., 2015; Pla, 2010).

Al comparar los resultados de esta variable para ambas profundidades y los diferentes usos de la tierra, todos los valores están por debajo de dicho límite, lo cual está relacionado con los altos contenidos de materia orgánica que mejoran la porosidad y disminuyen los valores de  $D_a$  (Bravo et al., 2017). También se puede indicar que los resultados en términos prácticos sugieren que en estos suelos no se presentan problemas de compactación o ninguna limitación física para el desarrollo de los cultivos.



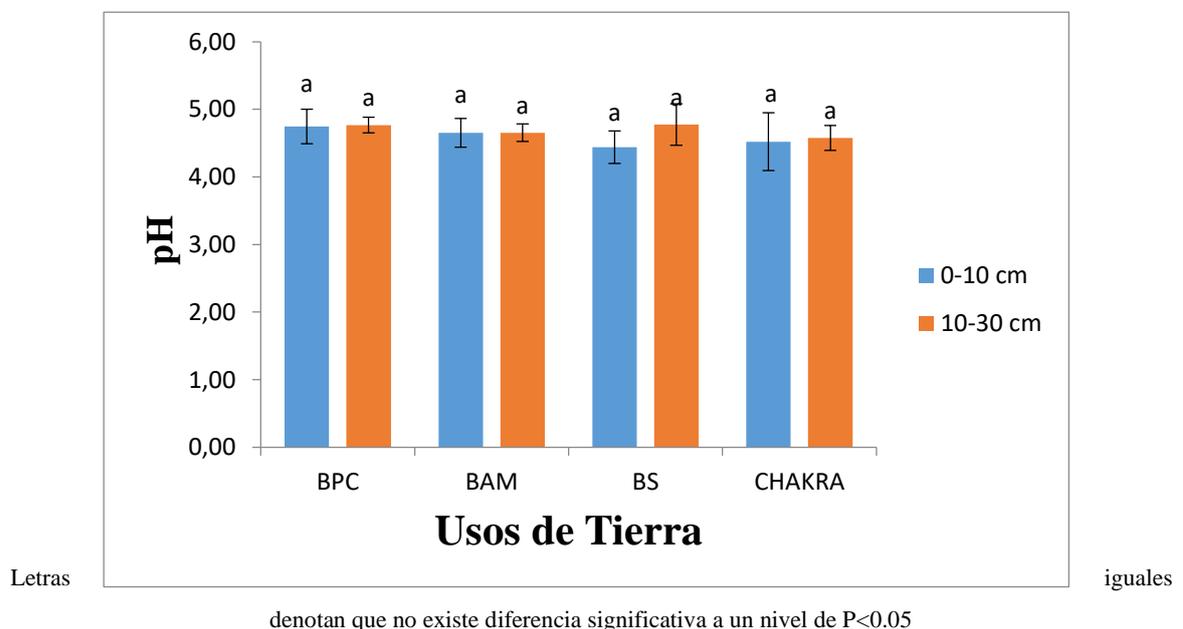
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$

**Figura 5.** Valores promedios de densidad aparente bajo diferentes usos de tierra (10-30cm)

#### 4.1.2. pH

De las tierras cultivables del mundo, el 40% son suelos ácidos con pH menor a 5,5 (Đalović et al., 2012). El potencial de hidrogeno (pH) es utilizado para estimar el grado de

acidez o basicidad del suelo (Campillo y Sadzawka, 2006). Los resultados de esta variable no mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en ambas profundidades (Figura 6). En la primera profundidad (0-10 cm) se obtuvieron valores muy ácidos (M Ac) que oscilaron entre 4,44 y 4,75, siendo el BPC el de mayor valor (Figura 6). Para la segunda profundidad (10-30 cm) se presenta un ligero incremento manteniendo su condición de acida, lo cual está relacionada con los factores de formación de suelo de la región amazónica (Bravo et al., 2017). Al respecto se ha señalado que en las provincias amazónicas prevalece una gran precipitación anual (4000 mm), lo cual provoca una lixiviación o arrastre hacia el interior del perfil del suelo de las bases de intercambiables ( $K^{+1}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ), este proceso ocurre lenta pero sostenidamente en el tiempo, determina un reemplazo de estas bases por los cationes ácidos como el hidrogeno y aluminio ( $H^{+1}$ ,  $Al^{+3}$ ) en la capa arable del suelo provocando un suelo ácido (Campillo y Sadzawka, 2006). La acidificación del suelo es a menudo asociada con la solubilización y la lixiviación de los nutrientes y con aumentos en las concentraciones de metales pesados potencialmente tóxicos. Este proceso tiene un impacto negativo en el funcionamiento de los suelos, en la supervivencia de ciertos grupos de organismos y, a veces, en la estabilidad del ecosistema bosque (Thiers, Reyes, Gerding y Schlatter, 2014).



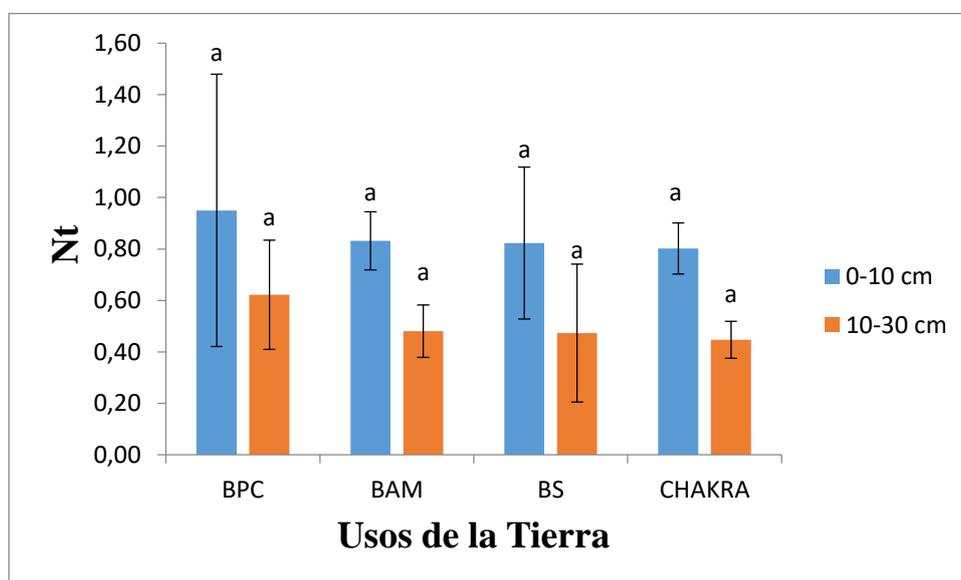
**Figura 6.** Distribución del pH bajo diferentes usos de tierra

También, se ha destacado que muchos procesos del suelo pueden contribuir a la acidez del suelo, incluida la disolución del gas  $CO_2$  (originado por la descomposición de la materia orgánica o la respiración microbiana del suelo) dentro de agua para formar ácido carbónico

( $H_2CO_3$ ), mutaciones en la estructura de la arcilla, hidrólisis de Al, lluvia ácida, lixiviación o meteorización de suelos, absorción de plantas de los cationes básicos y oxidación de S (McGrath et al., 2014).

#### 4.1.3. NITRÓGENO TOTAL (NT)

El nitrógeno total (NT) es un elemento muy importante en el ámbito ambiental ya que actúa en la composición de las proteínas y clorofila de las plantas (Díaz, 2016). El NT ha tomado importancia por su incidencia en los problemas de impacto ambiental, pues el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados provoca desnitrificación que contribuye a las emisiones terrestres de  $N_2O$  (Cristóbal-Acevedo et al., 2011). En la Figura 7 se muestran los valores de NT para las dos profundidades y usos de tierra evaluados.



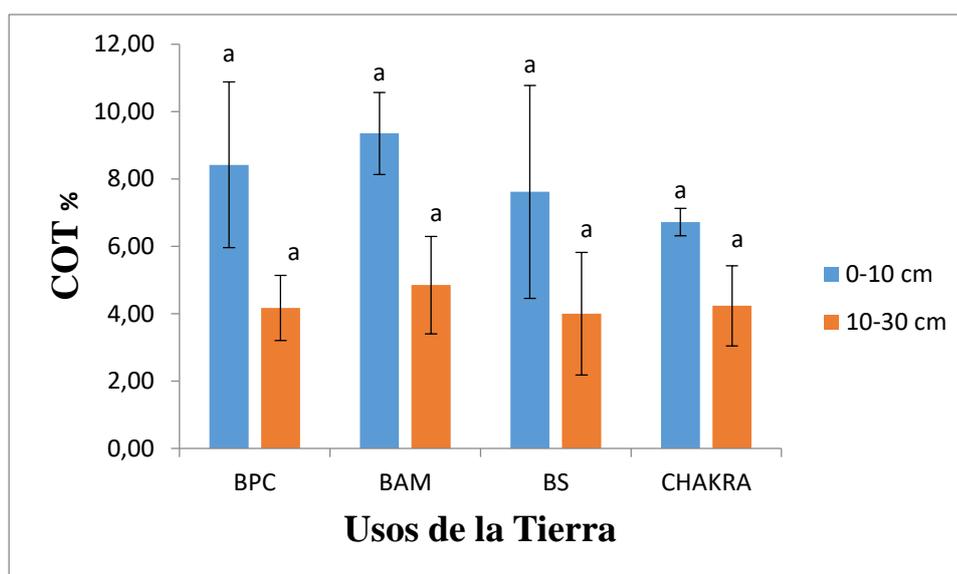
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$

**Figura 7.** Distribución de Nt bajo diferentes usos de tierra

Se puede observar que en la primera profundidad (0-10 cm) se obtuvieron valores categorizados como altos, lo cual pudiera estar asociado a los mayores contenidos de MOS en este horizonte. Sin embargo el NT en el suelo en función de la profundidad (10-30 cm), disminuye hasta 40% (Figura 7), independientemente del tipo de manejo, debido a que la capa superficial es la más influenciada por las adiciones de N derivadas de los residuos orgánicos que se incorporan o de las fertilizaciones (Cristóbal-Acevedo et al., 2011). Resultados similares han sido presentados por Díaz (2016) el cual realizó el estudio en tres tipos de usos de tierra a dos profundidades (0-10; 10-30 cm).

#### 4.1.4. CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

Los resultados de la evaluación del contenido de carbono orgánico del suelo no presentaron diferencias significativas en función del uso de la tierra en ambas profundidades mostrando valores similares. No obstante, si se observó que el factor profundidad independientemente de uso de la tierra exhibió una mayor acumulación en el horizonte superficial (Figura 8).



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$

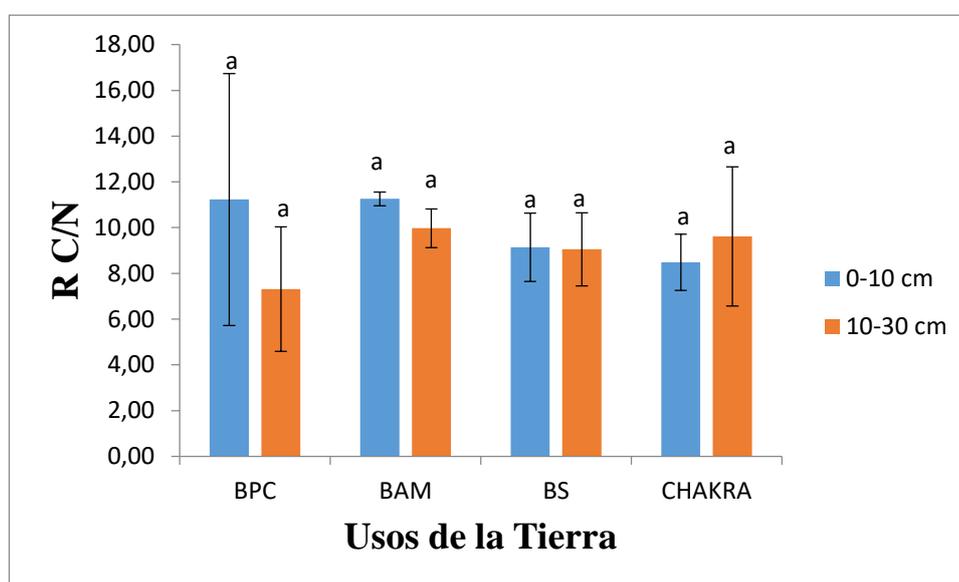
**Figura 8.** Distribución de Carbono Orgánico Total bajo diferentes usos de tierra

Al respecto, se ha señalado que los suelos en la RAE se caracterizan por tener un espesor del horizonte superficial muy delgado con un valor promedio cercano a los 10 cm, donde existe mayor acumulación de materia orgánica (Bravo et al., 2015). Los contenidos de carbono en el suelo dependen principalmente de los factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados, por el cambio en el uso y el manejo de la tierra (Cunalata et al., 2013). En todos los casos para la primera profundidad del suelo los contenidos de carbono orgánico (Figura 8), fueron categorizados como altos, mientras que el horizonte subsuperficial fueron clasificados como moderados.

#### 4.1.5. RELACIÓN CARBONO/ NITRÓGENO (C:N)

Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno de los suelos los determinan el clima y la vegetación, que a su vez los afectan otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y la duración de la explotación de los suelos y algunas de sus

características químicas, físicas y microbiológicas (Casanova, 2005). El carbono y nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición para cualquier organismo, esta relación indica que una fracción del carbono orgánico es biodegradable frente a la biodegradación total del nitrógeno (Díaz, 2016). Los valores obtenidos en los análisis denotan valores similares en las dos profundidades (Figura 9) con una relación Carbono: Nitrógeno  $< 10$ , a excepción BPC y BAM que obtuvieron  $>10$ , que indiferentemente a la profundidad se convertiría C/N un aliado para el cultivo ayudando a contrarrestar los elementos esenciales reducidos por la acidez del suelo ( $K^{+1}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ) sugiriendo una adecuada liberación de nitrógeno en forma de nitrato  $NO_3^-$  para que sea absorbido por las plantas.



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$

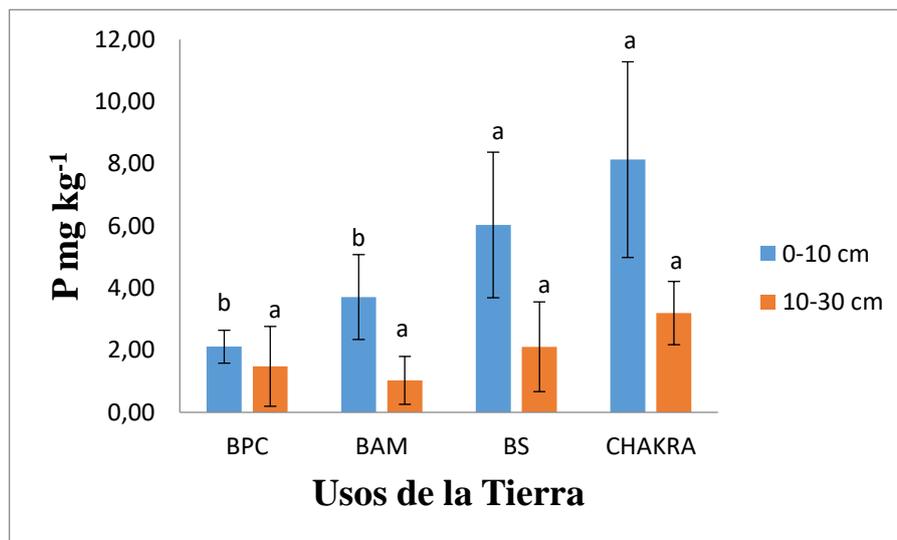
**Figura 9.** Distribución de relación C:N bajo diferentes usos de tierra

En términos prácticos, la relación C:N indica la potencialidad del suelo para transformar la materia orgánica en nitrógeno mineral y donde valores cercanos a 10 significa una adecuada liberación de nitrógeno, por tanto al observar los resultados en todo los tratamientos se podría inferir que en todos los casos la liberación de este elemento suple las necesidades para mantener una óptima actividad biológica en el suelo y a su vez suplir la demanda de los cultivos (Casanova, 2005).

#### 4.1.6. FÓSFORO (P)

El fósforo (P), es el menos móvil y con menor biodisponibilidad para las plantas de todos los macronutrientes y se encuentra en un equilibrio dinámico con las formas orgánicas e inorgánicas (Berrocal, Durango, Barrera y Díaz, 2009). El contenido de fósforo disponible

presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para la primera profundidad con contenidos que oscilaron de 2 a 8  $\text{mg kg}^{-1}$  y donde el uso con Chakra y BS registraron valores superiores a BAM y BPC (Figura 10). Para la segunda profundidad se observó un comportamiento similar y una disminución del fósforo disponible a valores inferiores de 4  $\text{mg kg}^{-1}$ , independientemente del uso de la tierra y la profundidad, los valores de este elemento son categorizados como bajos y se convierte en un factor limitante en la nutrición de los cultivos.



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$

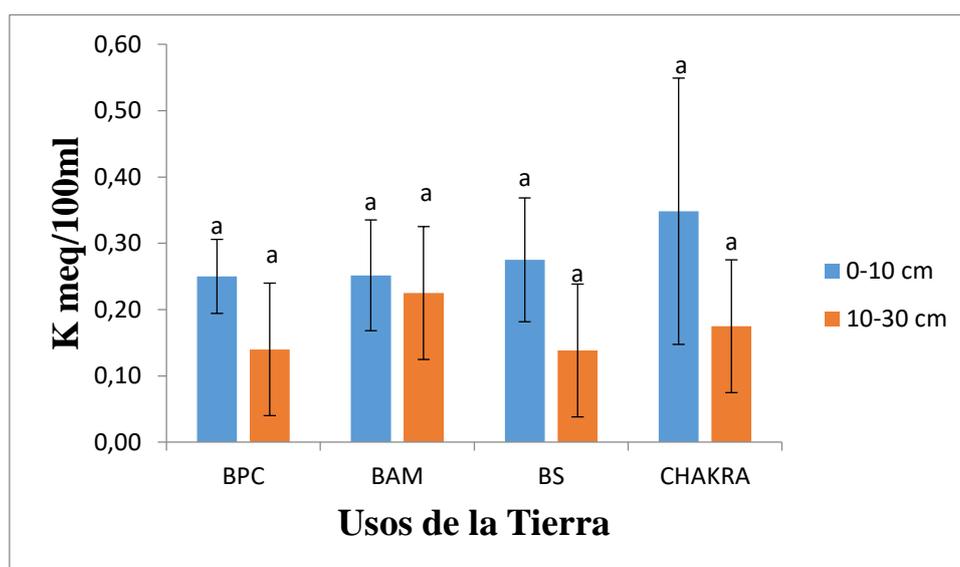
**Figura 10.** Distribución de Fósforo bajo diferentes usos de tierra

Los suelos de la región amazónica se caracterizan por ser ácidos, con alto contenido de materia orgánica y alta presencia de hierro y Aluminio y baja capacidad de intercambio catiónico (Bravo et al., 2017). Estas características de estos suelos hacen que la baja disponibilidad de fósforo se magnifique, debido a la formación de compuestos insolubles como fosfatos de aluminio (P-Al) y de hierro (P-Fe), que las plantas no pueden aprovechar para su nutrición (Bravo et al., 2017). El mayor valor de Fósforo disponible en el uso con Chackra ( $8,13 \text{ mg kg}^{-1}$ ), probablemente sea debido a la presencia de materia orgánica o fertilización mediante estiércol y otros componentes orgánicos que aumentan la disponibilidad del compuesto.

#### 4.1.7. BASES CAMBIABLES - POTASIO ( $\text{K}^{+1}$ )

Este elemento es esencial para el crecimiento de las plantas y requerido en concentraciones altas por esta razón, cuando empieza a manifestarse en ella la deficiencia, el elemento que está almacenada en las hojas tiende a desplazarse a las más jóvenes para cubrir sus necesidades, son pues las viejas las que presentan los primeros signos visibles (Navarro y

Navarro, 2013). Los valores obtenidos (Figura 11) se evidencia que los cuatro usos de tierra y en ambas profundidades no presentan diferencias significativas y tiende a disminuir con la profundidad. En general, independientemente del uso y las profundidades los valores medidos estuvieron por debajo  $< 0,3$  meq/100ml, categorizados como bajos, afectando la suplencia de nutrientes para el desarrollo productivo de las plantaciones. Trabajos realizados en condiciones amazónicas han mostrado resultados similares, señalando que la baja disponibilidad de las bases intercambiables está asociada a la naturaleza del material geológico con minerales bajos en  $K^{+1}$  (Custode y Sourdat, 1986) y a las condiciones climáticas de la zona caracterizadas por alta precipitaciones que genera un lavado y disminuye el pH del suelo (Bravo *et al.*, 2017). En una investigación realizada por Moreno (2018), evidencia valores promedios entre (0.04 a 0.16 meq/ 100ml) en tres tipos de usos de tierra con la misma profundidad. Los suelos más antiguos o muy erosionados o los suelos en áreas con alta precipitación son más propensos a exhibir deficiencia de K debido a su lixiviación (McGrath *et al.*, 2014).



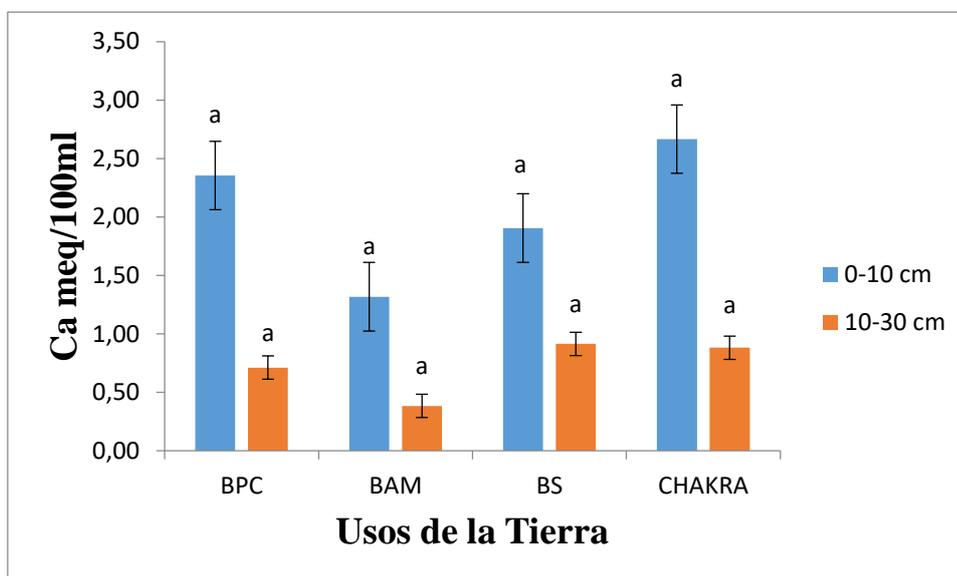
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0,05$

**Figura 11.** Distribución de Potasio bajo diferentes usos de tierra.

#### 4.1.8. CALCIO ( $Ca^{+2}$ )

Las concentraciones de calcio en la primera profundidad (0-10 cm) mostraron valores dominados bajos (Figura 12), el mayor valor se obtuvo en Chackra (2,67 meq/100ml), categorizados como medio, mientras que para la segunda profundidad (10-30 cm) los valores disminuyeron drásticamente en los cuatro usos con valores menores 1 meq/100ml categorizados como bajos. Al igual que el potasio, el contenido de calcio puede variar

ampliamente dependiendo del material de origen (Havlin *et al.*, 1999). Un estudio realizado por Díaz (2016) señala que el calcio tiene una relación directa con el pH del suelo y como se reflejan estos suelos muestran pH no óptimos para el crecimiento de plantas.

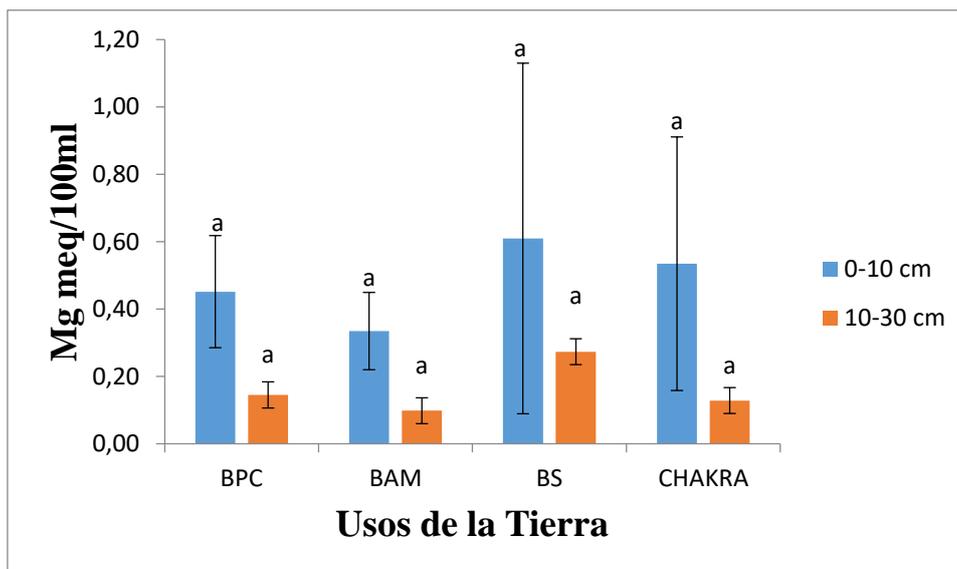


Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$   
**Figura 12.** Distribución de Calcio bajo diferentes usos de tierra

#### 4.1.9. MAGNESIO ( $Mg^{+2}$ )

El magnesio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y su contenido medio puede situarse en 1.9% presentando contenidos variables ya que los rangos van desde 0,1% en suelos arenosos en regiones húmedas hasta 4% en suelos de textura fina de regiones áridas o semiárida y es absorbido por la planta como ( $Mg^{+2}$ ) (Navarro y Navarro, 2013).

En la (Figura 13) se observa los valores de las dos profundidades que oscilaron entre (0,10-0,54 meq/100ml) categorizados como bajos al comparar con los valores críticos de la tabla 1. Al igual que  $Ca^{+2}$ , el  $Mg^{+2}$  está sujeto a pérdidas por lavados debido a la presencia de  $Al^{+3}$  en la fracción de intercambio que hacen que disminuya la disponibilidad (Díaz, 2016). Sin embargo independientemente del tipo de uso de tierra, los mayores valores se encontraron en la capa superficial de 0-10 cm



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de  $P < 0.05$

**Figura 13.** Distribución de Magnesio bajo diferentes usos de tierra

## 4.2. ANÁLISIS DE CORRELACIONES DE LAS VARIABLES FÍSICAS-QUÍMICAS

En las Tablas 3 y 4 se presentan las correlaciones más representativas entre los parámetros de suelos evaluados. Se puede apreciar que el grado de asociación de las variables osciló de bajas a moderadas en ambas profundidades. Para su interpretación se puede señalar que cuando la relación entre variables es negativa (-) sugiere que a medida que una variable aumenta, la otra variable disminuye, de igual forma la relación es positiva (+) porque a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta.

### PRIMERA PROFUNDIDAD (0-10 cm)

#### 4.2.1. DENSIDAD APARENTE (DA) Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

La relación entre COT y Da obtuvo un valor negativo -0,52, lo que significa una relación moderada y que al aumentar COT se reducirá la Da proporcionando que los suelos sean bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces (Donoso, 1992).

#### **4.2.2. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL**

La R C/N presentó un valor positivo 0,47 lo que significa un mayor contenido de R C/N, provee un aumento en las concentraciones de COT en el suelo, elementos esenciales para la nutrición de los organismos.

#### **4.2.3. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y NITRÓGENO TOTAL**

La R C/N presentó una correlación negativa con respecto al NT, con un valor de  $-0,60$ , lo que indica que un mayor contenido en la R C/N proporciona una disminución en los niveles de NT en el suelo o viceversa. Valores altos R C/N implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales (Gamarra *et al.*, 2018).

#### **4.2.4. DENSIDAD APARENTE Y FÓSFORO**

La densidad aparente evidenció una similitud positiva con el Fósforo de 0,44, lo que indica un mayor contenido de Da mayor contenido de Fósforo, causando una reducción del tamaño de las raíces de las plantas debido a la poca penetración por la compactación del suelo lo cual afecta a la absorción de nutrientes en este caso el Fósforo, aglomerándose en grandes cantidades dicho elemento.

#### **4.2.5. CALCIO, MAGNESIO Y POTENCIAL DE HIDRÓGENO**

La relación Ca, Mg con el pH, presentó una correlación positiva, 0,58 y 0,43, indicando que un mayor contenido de Ca y Mg aumentará el nivel de pH del suelo, corrigiendo la acidez del suelo y neutralizando los efectos tóxicos causados por dicho fenómeno

#### **4.2.6. CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO**

La correlación entre estas variables es positiva, indicando que a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta o viceversa, siendo indispensable éstas para el crecimiento de las plantas.

#### **4.2.7. CALCIO, MAGNESIO Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL**

La correlación entre estas variables fue negativa, aduciendo que el tipo de suelo o la textura del mismo pueden provocar dichas alteraciones.

## **SEGUNDA PROFUNDIDAD (10-30 cm)**

### **4.2.8. NITRÓGENO TOTAL Y DENSIDAD APARENTE**

La densidad aparente en función con el nitrógeno total mostró una correlación negativa, aduciendo que al aumentar la Da disminuirá la presencia de NT en el suelo, debido a la compactación del suelo y al aumento de profundidad.

### **4.2.9. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y DENSIDAD APARENTE**

En esta correlación el resultado fue positivo, al aumentar la relación C/N se puede destacar que es algo importante para el desarrollo de la vida biológica y deducir que esta correlación muestra efectos del tipo de suelo y estructura.

### **4.2.10. NITRÓGENO TOTAL Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL**

La relación NT y COT fue positiva, lo que indica un mayor contenido de NT mayor contenido de COT, dichos valores proporcionará un buen crecimiento de la planta, porque cuentan con suficiente carbono para utilizarlo como fuente de energía y nitrógeno para sintetizar sus proteínas, lo que estimula la mineralización de dicho elemento para será provechado por los componentes vegetales del sistema (Gamarra *et al.*, 2018).

### **4.2.11. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y NITRÓGENO TOTAL**

Esta relación fue negativa, indicando que una mayor concentración de Nitrógeno total puede convertirse en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica y provocando un desequilibrio en la relación C/N.

### **4.2.12. MAGNESIO Y CALCIO**

Esta relación fue positiva 850, indicando que al aumentar Magnesio provocará un incremento de Calcio, éstos forman parte de las bases intercambiables que son importantes en el proceso de la fotosíntesis y el metabolismo de las plantas.

**Tabla 3.** Análisis de correlación de las variables físicas-químicas en la profundidad 0-10 cm

| <b>CORRELACIÓN (0-10 cm)</b> |                |               |               |                |              |                                     |                                       |  |   |
|------------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| <b>Tratamiento</b>           | <b>Da</b>      | <b>pH</b>     | <b>% COT</b>  | <b>% NT</b>    | <b>R C/N</b> | <b>P<br/>( mg kg<sup>-1</sup> )</b> | <b>K<sup>+1</sup><br/>(meq/100ml)</b> | <b>Ca<sup>+2</sup><br/>(meq/100ml)</b> | <b>Mg <sup>+2</sup><br/>(meq/100ml)</b> |
| <b>Da</b>                    | 1,00           |               |               |                |              |                                     |                                       |  |   |
| <b>pH</b>                    | -0,01          | 1,00          |               |                |              |                                     |                                       |  |   |
| <b>% COT</b>                 | <b>-,518**</b> | -0,15         | 1,00          |                |              |                                     |                                       |  |   |
| <b>% NT</b>                  | -0,24          | 0,10          | 0,17          | 1,00           |              |                                     |                                       |  |   |
| <b>R C/N</b>                 | -0,34          | 0,00          | <b>,464*</b>  | <b>-,601**</b> | 1,00         |                                     |                                       |  |   |
| <b>P</b>                     | <b>,442*</b>   | 0,02          | -0,36         | -0,12          | -0,412*      | 1,00                                |                                       |  |   |
| <b>K<sup>+1</sup></b>        | 0,19           | ,418*         | 0,00          | 0,01           | -0,14        | 0,40                                | 1,00                                  |  |   |
| <b>Ca<sup>+2</sup></b>       | 0,11           | <b>,580**</b> | <b>-,478*</b> | -0,07          | -0,08        | 0,34                                | <b>,538**</b>                         | 1,00                                   |   |
| <b>Mg<sup>+2</sup></b>       | 0,26           | <b>,428*</b>  | <b>-,423*</b> | -0,03          | -0,28        | 0,30                                | <b>,534**</b>                         | <b>,791**</b>                          | 1,00                                    |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4.** Análisis de correlación de las variables físicas-químicas en la profundidad de 10-30 cm.

| <b>CORRELACIÓN (10-30 cm)</b> |               |           |              |                |              |                                     |                                      |                                       |                                       |
|-------------------------------|---------------|-----------|--------------|----------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Tratamiento</b>            | <b>Da</b>     | <b>pH</b> | <b>% COT</b> | <b>% NT</b>    | <b>R C/N</b> | <b>P</b><br>( mg kg <sup>-1</sup> ) | <b>K<sup>+1</sup></b><br>(meq/100ml) | <b>Ca<sup>+2</sup></b><br>(meq/100ml) | <b>Mg<sup>+2</sup></b><br>(meq/100ml) |
| <b>Da</b>                     | 1,00          |           |              |                |              |                                     |                                      |                                       |                                       |
| <b>pH</b>                     | 0,08          | 1,00      |              |                |              |                                     |                                      |                                       |                                       |
| <b>% COT</b>                  | -0,21         | -0,05     | 1,00         |                |              |                                     |                                      |                                       |                                       |
| <b>% NT</b>                   | <b>-,457*</b> | 0,15      | <b>,493*</b> | 1,00           |              |                                     |                                      |                                       |                                       |
| <b>R C/N</b>                  | <b>,471*</b>  | -0,19     | 0,35         | <b>-,563**</b> | 1,00         |                                     |                                      |                                       |                                       |
| <b>P</b>                      | 0,25          | -0,06     | -0,24        | -0,13          | -0,11        | 1,00                                |                                      |                                       |                                       |
| <b>K<sup>+1</sup></b>         | -0,15         | -0,08     | 0,23         | -0,08          | 0,25         | -0,15                               | 1,00                                 |                                       |                                       |
| <b>Ca<sup>+2</sup></b>        | 0,27          | 0,06      | -0,38        | -0,17          | 0,11         | 0,14                                | -0,09                                | 1,00                                  |                                       |
| <b>Mg<sup>+2</sup></b>        | 0,14          | -0,07     | -0,35        | -0,31          | 0,23         | -0,04                               | -0,05                                | <b>,850**</b>                         | 1,00                                  |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3. POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CO<sub>2</sub> COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN DIFERENTES USOS DE TIERRA

El secuestro de carbono del suelo puede contribuir a la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) al eliminar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y al mismo tiempo mejorar la salud y la sostenibilidad del suelo (Paustian, 2014). La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono. Los resultados obtenidos en esta investigación (Tabla 5), indican que en la primera profundidad (0-10cm) mostraron que no existieron diferencias significativas entre los cuatro usos de tierra, en promedio 27,38 Mg COT/ha. Indistintamente del uso de tierra el valor más alto fue del Bosque bajo aprovechamiento de Madera (29,62 Mg COT/ha).

**Tabla 5.** Determinación de Carbono Orgánico Total bajo diferentes usos de tierra

| Usos de la Tierra | COT % | Peso ha/kg | Kg Cot/ha | Mg Cot/ha | Mg Cot/ha |
|-------------------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>0-10 cm</b>    |       |            |           |           |           |
| BPC               | 8,42  | 301600,00  | 25385,67  | 25,39     |           |
| BAM               | 9,35  | 316800,00  | 29620,80  | 29,62     |           |
| BS                | 7,62  | 386100,00  | 29409,24  | 29,41     |           |
| CHAKRA            | 6,72  | 374000,00  | 25121,58  | 25,12     | 27,38     |
| <b>10-30 cm</b>   |       |            |           |           |           |
| BPC               | 4,17  | 963600,00  | 40153,21  | 40,15     |           |
| BAM               | 4,85  | 985600,00  | 47801,60  | 47,80     |           |
| BS                | 4,00  | 1099800,00 | 43992,00  | 43,99     |           |
| CHAKRA            | 4,23  | 1184200,00 | 50127,19  | 50,13     | 45,52     |

**BPC:** Bosque primario de Conservación, **BAM:** Bosque bajo aprovechamiento de madera, **BS:** Bosque secundario y Chackra.

**Fuente:** elaboración propia

En relación a la segunda profundidad (10-30cm), se puede observar que los valores aumentaron en función de la profundidad en todos los usos con un promedio de 45,22 Mg COT/ha, siendo la Chackra con mayor valor 50,13 Mg COT/ha. En comparación con un estudio realizado por Gaibor (2018), en 7 diferentes usos de tierra con profundidad (0-30cm) el bosque obtuvo un valor de 148,17 Mg COT/ha y tres Chackras en promedio 23,12 Mg COT/ha. Con estos resultados se demuestra que el recurso suelo es sumidero de carbono muy importante en la naturaleza, por tal razón mantener un

equilibrio en los consumos de materia prima y mejorar los planes de ordenamiento territorial para no seguir destruyendo a los ecosistemas.

#### **4.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CO<sub>2</sub> equi**

El mercado de carbono empieza a tomar forma a partir de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), llevada a cabo en el año 1992 durante la Cumbre de la Tierra en Rio. Seguidamente en el año 1995 se realizó en Berlín la primera conferencia de las partes (COP, por sus siglas en inglés) de la CMNUCC, en donde realizan las primeras negociaciones sobre objetivos jurídicamente vinculantes para la reducción de los GEI. Para el año de 1997 se realizó la tercera COP en Kioto, Japón y se constituyó el pilar fundamental para la política internacional sobre el clima en el mismo se fijaron objetivos de reducción de emisiones para países desarrollados (Landázuri, 2013). La valoración económica del CO<sub>2</sub> equi, en el mercado global está valorada en \$15, dependiendo de las fuentes virtuales del mercado de carbono puede variar entre \$10 t/CO<sub>2</sub>, (Carbon Market Watch, 2017).

Los resultados económicos en los cuatros usos de tierra (Tabla 6) en la primera profundidad (0-10cm), presentó en el Bosque bajo aprovechamiento de Madera un valor de \$ **1618,98 ha<sup>-1</sup>**, realizando un sumatoria general lo que aporta la primera profundidad con los restantes usos de tierra fue de **\$6030,03**, reduciendo 402 Mg CO<sub>2</sub>/ha. En la segunda profundidad (10-30cm), el uso de tierra Chakra presenta un valor alto de **\$2759,50 ha<sup>-1</sup>**, realizando un enfoque general de la contribución económica de los 4 usos de tierra fue de \$10023,17, mitigando 668,21 Mg CO<sub>2</sub>/ha (Tabla 6).

El Ecuador ha participado en el mercado de carbono desde el 2003, sin embargo, desde entonces la participación del Ecuador ha sido mínima y aun presenta un enorme potencial para mejorar (Landázuri, 2013). Bajo estos datos se puede implementar estrategias que mejoren el uso y la producción de los ecosistemas.

**Tabla 6.** Valor económico por captura de CO<sub>2</sub> bajo diferentes usos de tierra

| Usos de la Tierra | Da   | COT % | Mg COT/ha | Mg CO <sub>2</sub> /ha | \$ CO <sub>2</sub> /ha |
|-------------------|------|-------|-----------|------------------------|------------------------|
| <b>0-10 cm</b>    |      |       |           |                        |                        |
| BPC               | 0,30 | 8,42  | 25,39     | 93,17                  | <b>1397,48</b>         |
| BAM               | 0,32 | 9,35  | 29,62     | 108,71                 | <b>1630,63</b>         |
| BS                | 0,39 | 7,62  | 29,41     | 107,93                 | <b>1618,98</b>         |
| CHAKRA            | 0,37 | 6,72  | 25,12     | 92,20                  | <b>1382,94</b>         |
| <b>10-30 cm</b>   |      |       |           |                        |                        |
| BPC               | 0,48 | 4,17  | 40,15     | 147,36                 | <b>2210,43</b>         |
| BAM               | 0,49 | 4,85  | 47,80     | 175,43                 | <b>2631,48</b>         |
| BS                | 0,55 | 4,00  | 43,99     | 161,45                 | <b>2421,76</b>         |
| CHAKRA            | 0,59 | 4,23  | 50,13     | 183,97                 | <b>2759,50</b>         |

**BPC:** Bosque primario de Conservación, **BAM:** Bosque bajo aprovechamiento de madera, **BS:** Bosque secundario y Chackra.

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN DIFERENTES USOS DE TIERRA**

La fertilidad representa uno de los atributos del suelo que influye de manera determinante sobre su productividad y es considerada uno de los servicios ecosistémico que el suelo puede proporcionar para el beneficio de los seres humanos (Barroso *et al.*, 2017).

En la Tabla 7 se aprecia la valoración de la fertilidad del suelo, considerando la disponibilidad de nutrientes como el Nitrógeno total (Nt), Fósforo (P), Potasio (K<sup>+1</sup>), Calcio (Ca<sup>+2</sup>), Magnesio (Mg<sup>+2</sup>) y Materia Orgánica (Kg ha<sup>-1</sup>). Los resultados muestran un aporte significativo en la primera profundidad (0-10 cm) de cada nutriente, el Nt (Kg ha<sup>-1</sup>) es de \$73,93 tomando en cuenta el precio en el mercado del saco de Urea 46% de \$20. El alto requerimiento de N en la mayoría de los cultivos y su movilidad en el medio ambiente es comúnmente el nutriente más limitante tanto en el manejo y en los ecosistemas naturales (McGrath *et al.*, 2014). Para el (K<sup>+1</sup>) se registró un valor de \$137,66 con un precio referencia del Muriato de Potasio 60% de \$22. Con respecto al Ca<sup>+2</sup> pese a tener un valor referencial de la Cal Dolomita 38% de \$4,50 los suelos presentan valores altos de \$ 192,24. Para el Mg<sup>+2</sup> obtuvo un valor monetario medio de \$ 76,08 tomando como referencia monetaria el fertilizante Sulfato de Magnesio 25% a \$4,50. El P, el valor económico en los cuatro usos de tierra fue relativamente bajo

\$3,45, debido a las bajas concentraciones de éste, utilizando un valor en el mercado de Roca Fosfórica 42% de \$4,50.

Para la segunda profundidad (10-30 cm) los valores de cada nutriente en los cuatro usos de tierra fueron altos excepto el del Fósforo (P) en el siguiente orden: Materia Orgánica \$ 31.389,56,  $K^{+1}$  \$ 251,71,  $Ca^{+2}$  \$ 209,26,  $Mg^{+2}$  \$ 77,34 y P \$ 4,11, tomando como referencia los mismos valores del mercado de la primera profundidad. En la región Amazónica la mayoría de personas que viven en zonas rurales depende directamente de la agricultura, ganadería entre otros, éstos productores o dueños de terrenos pueden obtener el pago por servicios ambientales (PSA) para que adopten medidas de prevención para conservar los servicios ecosistémicos que poseen en sus tierras y de este modo tener un sistema sostenible con el medio ambiente.

**Tabla 7.** Valoración económica de la fertilidad del suelo bajo diferentes usos de tierra

| Usos de la Tierra | \$ kg Ni/ha | \$ Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha | \$ Kg K <sub>2</sub> O/ha | \$ kg Ca/ha | \$ kg Mg/ha | \$ TM Mo/ha | Valor Económico Total \$ ha |
|-------------------|-------------|---|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| <b>0-10 cm</b>    |             |   |                           |             |             |             |                             |
| BPC               | 17,13       | 0,31                                    | 26,51                     | 47,73       | 15,29       | 4376,49     | <b>4483,46</b>              |
| BAM               | 19,99       | 0,56                                    | 28,03                     | 28,07       | 11,91       | 5106,63     | <b>5195,19</b>              |
| BS                | 19,85       | 1,12                                    | 37,33                     | 49,43       | 26,43       | 5070,15     | <b>5204,31</b>              |
| CHAKRA            | 16,96       | 1,46                                    | 45,79                     | 67,02       | 22,45       | 4330,96     | <b>4484,65</b>              |
| <b>Total</b>      |             |   |                           |             |             |             | <b>\$ 19.367,60</b>         |
| <b>10-30 cm</b>   |             |   |                           |             |             |             |                             |
| BPC               | 27,10       | 0,68                                    | 47,43                     | 46,09       | 15,68       | 6922,41     | <b>7059,39</b>              |
| BAM               | 32,26       | 0,49                                    | 77,96                     | 25,39       | 10,87       | 8241,00     | <b>8387,97</b>              |
| BS                | 29,69       | 1,12                                    | 53,47                     | 67,62       | 33,73       | 7584,22     | <b>7769,86</b>              |
| CHAKRA            | 33,83       | 1,82                                    | 72,85                     | 70,16       | 17,05       | 8641,93     | <b>8837,65</b>              |
| <b>Total</b>      |             |   |                           |             |             |             | <b>\$ 32.054,86</b>         |

**BPC:** Bosque primario de Conservación, **BAM:** Bosque bajo aprovechamiento de madera, **BS:** Bosque secundario y Chackra.

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6. ÍNDICE DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO

De la evaluación de la calidad de suelos bajo diferentes usos de tierra en la Tabla 8 se muestra los valores únicos normalizados para la primera profundidad (0-10 cm), presentaron valores similares en tres usos de tierra BAM, BS y Chakra (0,41), y con un ligero incremento del BPC (0,42), proporcionando un orden BAM>42, BAM>41, BS>41, Chakra>41. Para determinar dicha escala los indicadores que mayor aporte realizan para la calidad de suelo fueron Da, COT y NT como resultado ubicándose como Modera Calidad (MC) según los criterios (Tabla 2).

Para la segunda profundidad (10-30 cm) independiente el uso de suelo se observa una disminución significativa de los parámetros, obteniendo un orden BPC>0,29, BS> 0,28, Chakra> 0,27 y BAM> 0,26, siendo los parámetros que aportaron en mayor cantidad Da y COT, según los criterios el índice es Baja Calidad (BC). En estudios realizados por Pintado (2018), en cuatro tipos de usos de tierra se obtuvo en la primera profundidad (0-10 cm) similares valores (BPC 0,48; BAM 0,43; BS 0,46; Chakra 0,50) y distintos valores al aumentar la profundidad valores (BPC 0,40; BAM 0,31; BS 0,34; Chakra 0,40).

**Tabla 8.** Índice de calidad del suelo bajo diferentes usos de la tierra

|                                   | <b>BPC</b>  | <b>BAM</b>  | <b>BS</b>   | <b>CHAKRA</b> |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <b>Profundidad (0-10 cm)</b>      |             |             |             |               |
| <b>Da (Mg m<sup>-3</sup>)</b>     | 0,91        | 0,89        | 0,83        | 0,84          |
| <b>pH</b>                         | 0,3         | 0,26        | 0,18        | 0,21          |
| <b>R C/N</b>                      | 0,51        | 0,51        | 0,39        | 0,35          |
| <b>% COT</b>                      | 0,66        | 0,75        | 0,58        | 0,5           |
| <b>% NT</b>                       | 0,46        | 0,4         | 0,4         | 0,38          |
| <b>P (mg kg<sup>-1</sup>)</b>     | 0,1         | 0,24        | 0,44        | 0,63          |
| <b>K<sup>+1</sup> (meq/100ml)</b> | 0,32        | 0,33        | 0,36        | 0,46          |
| <b>Ca<sup>+2</sup>(meq/100ml)</b> | 0,28        | 0,15        | 0,22        | 0,32          |
| <b>Mg<sup>+2</sup>(meq/100ml)</b> | 0,22        | 0,14        | 0,32        | 0,27          |
| <b>ICS</b>                        | <b>0,42</b> | <b>0,41</b> | <b>0,41</b> | <b>0,44</b>   |
| <b>CLASE</b>                      | <b>MC</b>   | <b>MC</b>   | <b>MC</b>   | <b>MC</b>     |
| <b>Profundidad (10-30 cm)</b>     |             |             |             |               |
| <b>DA (Mg m<sup>-3</sup>)</b>     | 0,74        | 0,73        | 0,68        | 0,64          |
| <b>% pH</b>                       | 0,31        | 0,26        | 0,31        | 0,23          |
| <b>R C/N</b>                      | 0,69        | 0,47        | 0,55        | 0,5           |
| <b>% COT</b>                      | 0,25        | 0,32        | 0,24        | 0,26          |
| <b>% NT</b>                       | 0,29        | 0,21        | 0,21        | 0,19          |
| <b>P (mg kg<sup>-1</sup>)</b>     | 0,04        | 0           | 0,1         | 0,19          |
| <b>K<sup>+1</sup> (meq/100ml)</b> | 0,18        | 0,29        | 0,17        | 0,22          |
| <b>Ca<sup>+2</sup>(meq/100ml)</b> | 0,07        | 0,02        | 0,09        | 0,09          |
| <b>Mg<sup>+2</sup>(meq/100ml)</b> | 0,07        | 0,03        | 0,2         | 0,06          |
| <b>ICS</b>                        | <b>0,29</b> | <b>0,26</b> | <b>0,28</b> | <b>0,27</b>   |
| <b>CLASE</b>                      | <b>BC</b>   | <b>BC</b>   | <b>BC</b>   | <b>BC</b>     |

MAC: Muy alta calidad; AC: Alta calidad; MC: Moderada calidad; BC: Baja Calidad; MBC: Muy baja calidad

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La Densidad aparente al momento de evaluarla presentó valores bajos en los cuatros usos de tierra independientemente de la profundidad, por lo cual se concluye que estos suelos son bien aireados, que presentan una buen drenaje y penetración de las raíces, ayudando de gran manera al desarrollo de los cultivos.
- Las propiedades químicas evaluadas en los distintos usos de tierra presentaron suelos ácidos, con altos contenidos de materia orgánica y de nitrógeno, baja fertilidad principalmente de las bases intercambiables debido a que el pH del suelo es muy ácido afectando a los nutrientes esenciales que necesitan las plantas, presentan una considerable cantidad de carbono orgánico con mejores características en el horizonte superficial.
- Al caracterizar el secuestro de carbono en el suelo bajos distintos usos de tierra, presentaron valores promedios de 27,38 Mg COT/ha y 45,52 Mg COT/ha en las dos profundidades, aludiendo que por un manejo inadecuado del suelo y por circunstancias ambientales provocan esas variaciones bajas afectando a la fertilidad del suelo. La valoración económica del Dióxido de Carbono mostró valores altos, deduciendo que se puede utilizar como incentivo para que los dueños de fincas puedan acceder a mecanismos de pago como es el bono de carbono y que ayuda a preservar el ecosistema.
- A pesar de los bajos niveles de fertilidad del recurso suelo, al realizar la valoración económica del P, K<sup>+1</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y MOS, se determinó valores altos en cada profundidad con un total \$ 51.422,47, dicho valor puede ser invertido zonas rurales que desean acceder a mecanismos de pago por la conservación y poder desarrollar una vida sostenible.
- Los índices de calidad del suelo en distintos usos de tierra fueron muy similares y variaron de moderado a bajos para el horizonte superficial y subsuperficial respectivamente, lo cual está influenciado por las disminución de los valores de las propiedades del suelo en función de la profundidad

## **5.2.RECOMENDACIONES**

Es factible realizar una caracterización biológica para determinar la actividad microbiana presente en los suelos y realzar su importancia en el equilibrio de los ecosistemas.

Debido al crecimiento demográfico, realizar reuniones con la comunidad para sociabilizar la importancia que tienen los bosques y el recurso suelo, para que aprovechen de una forma sostenible y que realicen sus actividades bajo sistemas productivos amigables con el medio ambiente.

Comunicar a la comunidad los beneficios económicos que pueden adquirir mediante la protección de los ecosistemas de su zona, a través de pagos por servicios ambientales ofertadas por instituciones públicas y privadas, así mismo indicar los servicios ecosistémicos que provee la naturaleza.

## CAPÍTULO VI

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, K., & Hartemink, A. (2016). Linking soils to ecosystem services — A global review. *Geoderma*, 262, 101-111. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Aide, T.M. y Grau, H.R. (2004). Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science* 305: 1915-1916.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36:605-620.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21 (1-2): 136-147
- Barroso - Tagua, R., Alvarez, D., Huera, T., Bravo, C., y Changoluisa, D. (2017). La fertilidad del suelo como un Servicio Ecosistémico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), en la provincia de Napo. En W. Caicedo (Presidente). En el Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria – Ecuador 2017, Puyo, Ecuador.
- Bertsh, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p
- Berrocal, E., Durango, J., Barrera, J., y Díaz, B. (2009). Evaluación de formas de fósforo en suelos cultivados con plátano. *Acta Agronómica*, 58(3), 152-159.
- Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Bulk Density<sup>1</sup>. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*(methodsofsoilan1), 363-375.
- Bravo, C. (2014): Caracterización del recurso suelo como base para la conversión agroecológica de áreas bajo pastizales a agroecosistemas sostenibles de Cacao y Ganadería en la región amazónica: Caso Pastaza y Napo. Proyecto Prometeo-Universidad Estatal Amazónica. Secretaria de ciencia y tecnología (SENESCYT). Informe final Prometeo. Quito, Ecuador. 120 pp.
- Bravo Medina, C.; Marín, H.; Marrero-Labrado, P; Ruiz, M.E; Torres-Navarrete, B; Navarrete-Alvarado, H; Durazno-Alvarado, G y Changoluisa-Vargas, D. (2017).

- Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1): 23-36.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Torres, R., Navarrete, H., y Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1-16.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas-Burgos, J. C., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Socio-Environmental Characterization of Agricultural Production Units in the Ecuadorian Amazon Region, Subjects Pastaza and Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4 (1): 3-31
- Bravo, C., Torres, B., Aleman, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., & Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de la Geografía de la Universidad Complutense*, 247-264.
- Campillo, R., y Sadzawka, A. (2006). La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados, in: Campillo, R. (Ed.). *Manejo de los recursos naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de la Araucanía*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias–Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.38. pp. 44-60.
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J., y Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25(2),173-178.
- Carbon Market Watch. (2017). Pricing carbon to achieve the Paris goals. Recuperado de [https://carbonmarketwatch.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/CMW-PRICING-CARBON-TO-ACHIEVE-THE-PARIS-GOALS\\_Web\\_spread\\_FINAL.pdf](https://carbonmarketwatch.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/CMW-PRICING-CARBON-TO-ACHIEVE-THE-PARIS-GOALS_Web_spread_FINAL.pdf)
- Casanova, E. (2005): *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Central de Venezuela.-UCV. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Caracas. Venezuela. 481 pp

- Cristóbal-Acevedo, D., Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., y Améndola-Massiotti, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325-332.
- Cunalata, C., Inga, C., Alvarez, G., Recalde, C., y Echeverría, M. (2013). Determinación de carbono orgánico total presente en el suelo y la biomasa de los páramos de las comunidades de Chimborazo y Shobol Llinllin en Ecuador. Bolentin del grupo Español del Carbon, 27, 10-13. Recuperado de [http://www.gecarbon.org/Boletines/Boletin/boletinGEC\\_027.pdf](http://www.gecarbon.org/Boletines/Boletin/boletinGEC_027.pdf)
- Custode, E. y Sourdat, M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Đalović, G., Jocković, D. S., Dugalić, G. J., Bekavac, G. F., Purar, B., Šeremešić, S. I., & Jocković, M. D. (2012). Soil acidity and mobile aluminum status in pseudogley soils in Čačak–Kraljevo basin. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 77(6), 833-843
- Díaz, A. (2016). Impacto ambiental del cambio de uso del suelo sobre los parámetros edáficos en la Reserva de biosfera Sumaco, provincia de Napo (tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- Donoso, C. (1992) *Ecología forestal*. Editorial Universitaria, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., y Gret-Regamey, A. (2018). Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecoligal Indicators*, 94(1), 151-169. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>
- Durán, F. (2009). *Estudio de suelos manejo y conservación del suelo agrícola*. Bogotá, Colombia: Editorial Grupo Latino.
- Duval, M., Galantini, J., Martínez, J., López, F., y Wall, L. (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronómicas*. 25(15). 33-43.

- Erazo, Juliet (2008). *Construyendo la autonomía: Organizaciones Indígenas, gobierno y uso de la tierra en la región amazónica del Ecuador, 1964-2001*. Ed. Abya-Yala. Quito, Ecuador.
- Gamarra, C., Díaz, M., Vera, M., Galeano, M.P., y Cabrero, N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 9(46). 4-26.
- Gashwa, T., Tulu, T., Argaw, M., Worqlul, A., Tolessa, T., & Kindu, M. (2018). Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: The case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Ecosystem Services*, 31(A), 219-228. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.05.001>
- Gaibor, K. (2018). *Servicios Ecosistémico del Recurso Suelo bajo distintos usos de la tierra en Agroecosistemas de la Cuenca Alta del Río Napo (Tesis de pregrado)*. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Archidona. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Archidona*. Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocum entofinal/1560000430001\\_PDyOT%20Archidona\\_15-03-2015\\_18-54-23.pdf](http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocum entofinal/1560000430001_PDyOT%20Archidona_15-03-2015_18-54-23.pdf)
- Gori-Maia, A., Brito-Miyamoto, B., & Ruiz-Garcia, C. (2018). Climate Change and Agriculture: Do Environmental Preservation and Ecosystem Services Matter?. *Ecological Economics*, 152, 27-39. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.013>
- Guallo, N. (2018). *Secuestro de Carbono como Servicio Ecosistémico en distintos usos de la tierra en la cuenca media del río Napo, Región Amazónica Ecuatoriana (Tesis de pregrado)*. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- Havlin, J. L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. (1999). *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management*. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Holford, I. (1997). Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plant. *Aust. J. Soil Res.*35:227-239

- Imai, N., Samejima, H., Langner, A., Ong, RC., Kita, S., Titin, Y.,...Kitayama, K. (2009). Co-Benefits of Sustainable Forest Management in Biodiversity Conservation and Carbon Sequestration. PLOS ONE 4(12): e8267.
- International Tropical Timber Organization. (2005). Status of tropical forest management 2005. Recuperado de <http://www.itto.or.jp/live/PageDisplayHandler?pageId=270>.
- Jónsson, J.O., & Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultura Systems*, 145, 24-38. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>
- Juárez, M., Sánchez, J., Y Sánchez, A. (2006). QUÍMICA DEL SUELO Y MEDIO AMBIENTE. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- McBratney, A.B., Field, D.J. y Koch, A. (2013): The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213(2014), 203-213
- McGrath, J. M., Spargo, J., & Penn, C. J. (2014). Soil Fertility and Plant Nutrition. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 166-184
- Landázuri, J. (2013). El mercado de Carbono en el Ecuador (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Mazo, N., Rubiano, J., y Castro, A. (2015). Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los Sig. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 25 (1): 65-77. DOI: 10.15446/rcdg.v25n1.41993
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.82
- Moreno, G. (2018). Biodiversidad y Potencial de captura de carbono en distintos tipos de bosque de la cuenca alta del Rio Napo (tesis de Pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador
- Navarro, G., y Navarro, S. (2013). *Química agrícola Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Madrid, España: Mundi- Prensa.

- Nelson, D., & Sommer, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. 9(2), 539-579.
- Ordoñez, J., Masera, O. (2016). Captura del Carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques, 7(1), 3-12.
- Pacha, M. J. (2014). Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía. Brasilia, Iniciativa Amazonia Viva.
- Palma, D. (2011). Evaluación de la actividad biológica (respiración y biomasa microbiana) como indicadores de la salud de suelos ubicados en San Joaquín, Estado Carabobo (tesis de Pregrado). Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Paustian, K. (2014). Soil: Carbon Sequestration in Agricultural Systems. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, 140-152
- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. Current Opinion in Environmental Current Opinion in Environmental Science & Health & Health, 5, 7-13
- Pintado, J. (2018). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA MEDIANTE PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL CANTÓN CARLOS JULIO AROSEMENA TOLA, PROVINCIA DE NAPO (tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos. Dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. Suelos Ecuatoriales, 40(2), 75-93.
- Porta, J., López- Acevedo, M., y Poch, R. M. (2008). Introducción a la Edafología Usos y Protección del Suelo. Madrid, España: Mundi- Prensa.
- Pueblo Kichwa de Rukullakta. (2018). Plan de Comanejo de los recursos naturales del pueblo Kichwa de Rukullakta (PKR), conformado por 17 comunidades, en el

bosque protector Cerro Sumaco, cuenca alta del río Suno de la provincia de Napo. Recuperado de <http://infonyo.org/assets/pdf/Plan-de-comanejo-PKR.pdf>

Rubio, A. (2010). LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES (Tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.

Schulte, EE & BG Hopkins. (1996). Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. In: FR Magdoff *et al.* (ed) Soli organic matter: Analysis and interpretation. SSSA Spec. Publ. 46. SSSA, Madison, WI. P 21-31.

Solís, W. (2008). Estudio de factibilidad para electrificación rural en la organización del pueblo Kichwa de Rukullakta en la provincia de Napo de la Amazonía del Ecuador (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Thiers, O., Reyes, J., Gerding, V., y Schlatter, J. (2014). Suelos en ecosistemas forestales. En Donoso C, ME González, A Lara eds. Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. p. 133-178

Viana, R., Ferraz, J., Neves, A., Veira, G., & Pereira, B. (2014). Soli quality indicators for different restoration stages on Amazon rainforest. ELSEVIER, 1-7.

## CAPÍTULO VII

### 7. ANEXOS



**Figura 14.** Recolección de muestras físicas del suelo.



**Figura 15.** Recolección de muestras químicas del suelo.



**Figura 16.** Determinación de pH



**Figura 17.** Determinación de Fósforo.



**Figura 18.** Digestión de Nitrógeno.



**Figura 19.** Destilación de Nitrógeno.



**Figura 20.** Preparación de Reactivos.



**Figura 21.** Determinación de Materia Orgánica.